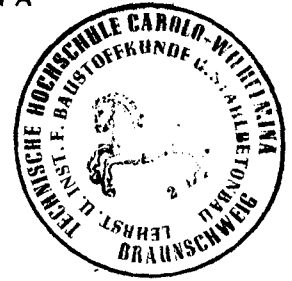


30-0338/002

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE BRAUNSCHWEIG
DIREKTOR: o. PROF. DR.-ING. KARL KORDINA



Abschlußbericht zum Forschungsauftrag

" Der Einfluß unterschiedlicher Wasseraufnahme von
Kalksandvollsteinen auf das Trag- und Verformungs-
verhalten von Kalksandsteinmauerwerk "

von

Prof. Dr.- Ing. K. Kordina

und

Dipl.- Ing. R. Lewandowski

Die Untersuchungen wurden durchgeführt im Auftrage des Bundes-
verbandes der Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover- Herren-
hausen, Entenfangweg 3.

Veröffentlichung von Untersuchungsberichten, auch auszugsweise, und
Hinweise auf Untersuchungen zu Werbezwecken bedürfen in jedem Einzel-
falle der schriftlichen Einwilligung des Instituts.

June 1966

Inhaltsübersicht

1. Vorbemerkung	S. 1
2. Vorversuche am Ausgangsmaterial	S. 2
2.1. Kalksandsteine	S. 2
2.1.1 Prüfungen nach DIN 106	S. 2
2.1.2 Wasseraufnahme und Saugfähigkeit	S. 4
2.1.3 Einflüsse auf die Druckfestigkeit der Kalksandsteine	S. 4
2.1.4 Biegezugfestigkeit	S. 7
2.2. Zement	S. 8
2.3. Mauersand	S. 8
2.4. Kalk	S. 8
2.5. Mörtel	S. 9
3. Versuche an Mauerwerkskörpern	S. 9
3.1. Wände 125 x 24 x 250 cm ³	S. 10
3.1.1 Tragverhalten der Wände	S. 10
3.1.2 Verformungsverhalten der Wände	S. 14
3.2. Pfeiler "P" 24 x 24 x 100 cm ³	S. 15
3.2.1 Tragverhalten der Pfeiler	S. 15
3.2.2 Verformungsverhalten der Pfeiler	S. 16
3.3. Pfeiler "K" 11,5 x 24 x 40 cm ³	S. 16
3.3.1 Tragverhalten der Proben	S. 17
3.3.2 Verformungsverhalten der Proben	S. 18
3.3.3 Ungleichförmigkeit der Fugen	S. 20
4. Zusammenfassung	S. 22

1. Vorbemerkung

Auf das Tragvermögen eines Mauerwerkskörpers haben die Festigkeiten des verwendeten Mörtels und der benutzten Steine einen Einfluß. Dementsprechend wird auch das Verformungsverhalten des Mauerwerks durch die Verformungseigenschaften der zum Aufmauern verwendeten Materialien bestimmt.

Festigkeits- und Verformungseigenschaften können sich sowohl beim Mörtel als auch bei den Steinen mit dem Grad ihrer Durchfeuchtung ändern. Der Einfluß einer mehr oder minder starken Durchfeuchtung eines Mauerwerkskörpers, dessen Mörtel abgebunden ist, auf sein Tragvermögen und sein Verformungsverhalten läßt sich jedoch in etwa aus dem Verhalten der einzelnen Mauerwerkskomponenten bei unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt herleiten. Stark vereinfachend läßt sich sagen: Sofern zwischen den Eigenschaften der Ausgangsstoffe (Festigkeiten sowie Verformungsverhalten von Mörtel und Steinen) und dem mechanisch-technologischen Verhalten des daraus hergestellten Mauerwerks gesetzmäßige Zusammenhänge bestehen, so werden durch Feuchtigkeitsaufnahme bedingte Änderungen der Eigenschaften des Ausgangsmaterials sich etwa den gleichen Gesetzen folgend auch dem Mauerwerk aufprägen. Diesen Sachverhalt durch Versuche zu belegen, war jedoch nicht das Ziel der Untersuchungen.

Von Interesse erschien vielmehr, welchen Einfluß die Wasseraufnahme der Steine auf das Abbinden und somit auch auf die Eigenschaften des Mauer Mörtels hat und inwieweit hierdurch das Trag- und Verformungsverhalten des Kalksandsteinmauerwerks beeinflußt wird. Kalksandsteine können beim Aufmauern dem Mauer Mörtel mehr oder weniger viel Wasser entziehen. Dies hängt von dem unterschiedlich starken Saugvermögen der einzelnen Steinsorten sowie der Vorbehandlung der Steine vor dem Einmauern ab. Wird der Mörtel steif angemacht, d.h. mit nur wenig Überschußwasser, so wird ihm durch stark saugende, trocken vermauerte Steine u.U. zu viel Wasser entzogen, das zum Abbinden fehlt. Vermauert man dagegen weitgehend wasser-satte Steine, so ist bei Kalkzement- und Zementmörteln ein gleichmäßigeres Abbinden zu erwarten. Dementsprechend wäre bei Verwendung von Steinen geringer Saugfähigkeit oder hoher Eigenfeuchte mit anderen mechanisch-technologischen Eigenschaften des Mauerwerks zu rechnen als beim Vermauern stark saugender oder trockener Steine. In den nachstehend beschriebenen Versuchen sollte durch Verwendung stark saugender Kalksandsteine im luft-trockenen und im wassergesättigten Zustand geklärt werden, in welchem Rahmen mit Einflüssen auf das Mauerwerk gerechnet werden muß. Hierzu wurden an zwei Steinsorten die möglichen Extreme studiert: Vermauern luft-trockener sowie praktisch wassergesättigter Steine.

An Mauerwerkskörpern unterschiedlicher Abmessungen wurden das Tragvermögen und das Verformungsverhalten untersucht. Durch Messungen an eingemauerten Einzelsteinen und an Mauerwerksfugen sollten die Einflüsse unterschiedlich starker Wasseraufnahme der Steine auf die einzelnen Mauerwerks-

komponenten geklärt werden.

Den Versuchen an den mit Kalkzementmörtel hergestellten Mauerwerkskörpern gingen umfangreiche Untersuchungen an den zum Aufmauern verwendeten Steinen und Mörteln sowie dessen Ausgangsstoffen voraus.

2. Vorversuche am Ausgangsmaterial

Vor Beginn der Hauptuntersuchungen und parallel zu diesen wurden die zum Aufmauern der Mauerwerksproben zur Verfügung stehenden Kalksandsteine sowie die verwendeten Mörtel auf ihre Eigenschaften untersucht. Der für die Mörtelherstellung benötigte Sand, Kalk und Zement wurden nach den einschlägigen Vorschriften geprüft.

2.1. Kalksandsteine

Für die Untersuchungen standen 2 Sorten Kalksandsteine KSV 150 NF zur Verfügung, die von den "Kalksandsteinwerken Braunschweig-Gifhorn GmbH. u. Co." im Auftrage des Bundesverbandes der Kalksandsteinindustrie e.V. geliefert worden waren. Im folgenden werden diese Steine als Steinsorte "A" und Steinsorte "B" bezeichnet.

Die Kalksandsteine wurden den üblichen Prüfungen nach DIN 106 unterzogen. Zusätzlich wurden ihre Wasseraufnahme, die Druckfestigkeit bei unterschiedlicher Probenform und unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt sowie die Biegezugfestigkeit geprüft. Bei den Untersuchungen an einzelnen Steinen wurde Wert auf eine wahllose Entnahme der Proben aus der vorhandenen, gelieferten Gesamtheit gelegt.

2.1.1 Prüfungen nach DIN 106

Die Abmessungen der Steine wurden an jeweils 40 Proben, die alsdann zur Druckprüfung dienten, überprüft. Die Maße der Kalksandsteine der Sorte "A" betrugen $240 \times 113 \times 70 \text{ mm}^3$. Gelegentliche Abweichungen von diesen genannten Maßen um + 1 mm traten bei der Höhe der Steine auf; die Steinlänge wies hin und wieder eine Abweichung um - 1 mm auf. In der Breite wurden bei den untersuchten Steinen keine Abweichungen festgestellt. Die Abmessungen der Steine der Sorte "B" betrugen $240 \times 114 \times 70 \text{ mm}^3$. Abweichungen von diesen Maßen konnten lediglich bei der Länge festgestellt werden, die gelegentlich um - 1 mm differierte.

Die Bestimmung der Rohdichte erfolgte an jeweils 10 Steinen. In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Messungen angegeben. Aus Tafel 4 der Anlage 5 sind die Einzelwerte ersichtlich.

Tabelle 1 - Rohdichte

Steinsorte	A	B
Rohdichte in kp/dm^3	1,86	1,81

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit wurden die Kalksandsteine entsprechend DIN 106 vorbereitet. Vor der Druckfestigkeitsprüfung wurden die Kalksandsteine mit einer naß arbeitenden Steinsäge halbiert. Die Hälften wurden mit Zementmörtel aufeinandergemörtelt und diese Probekörper alsdann mit dünnen Mörtelschichten planparallel abgeglichen.

Um ggfs. vorhandene Einflüsse des Abgleichmörtels erfassen zu können, wurden aus jeder Mörtelmischung Proben entnommen und in Anlehnung an DIN 1164 untersucht. Die Biegezugfestigkeiten lagen zwischen 30 kp/cm^2 und 40 kp/cm^2 , die Druckfestigkeiten des Mörtels zwischen 504 kp/cm^2 und 555 kp/cm^2 . Einzelheiten gehen aus Tafel 11 der Anlage 14 hervor. Insgesamt waren die Mörtel danach recht gleichmäßig, ihre Druckfestigkeiten lagen weit über denen der Steine, so daß eine Beeinflussung der an den Kalksandsteinproben gemessenen Ergebnisse durch den Mörtel ausgeschlossen werden kann.

Nach dem Erhärten der Abgleichschichten wurde die Druckfestigkeit der Steine geprüft. Die Prüfung erfolgte an jeweils 40 Proben. Tabelle 2 enthält die Mittelwerte; aus Tafel 1 der Anlage 1 können die Einzelwerte entnommen werden.

Tabelle 2 - Druckfestigkeit

Steinsorte		A	B
arithmetisches Mittel	kp/cm^2	154	141
Maximalwert	kp/cm^2	189	175
Minimalwert	kp/cm^2	128	115
Spanne R	kp/cm^2	61	60
Streuung s	kp/cm^2	14,9	13,8
Variationsquotient V	%	9,7	9,8

Die Steine der Sorte "A" entsprachen nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen einem KSV 2,0/150/NF DIN 106. Bei den Steinen der Sorte "B" wurden die Anforderungen an die Druckfestigkeit dieser Güteklasse geringfügig unterschritten.

2.1.2 Wasseraufnahme und Saugfähigkeit

Wasseraufnahme und Saugfähigkeit beider Steinsorten wurde sowohl an lufttrockenen als auch bei 105° C in Trockenschränken bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Proben bestimmt. Von Bedeutung für die Wasserabgabe des Mauermörtels waren vor allem die an den lufttrockenen Steinen (Anlieferungszustand) gemessenen Werte.

Zur Bestimmung der Wasseraufnahme wurden die Kalksandsteine 10 cm tief bei Atmosphärendruck völlig unter Wasser gelagert. Die Saugfähigkeit wurde folgendermaßen ermittelt: Die Kalksandsteine wurden hochkant in Wasser gestellt, so daß sie zu einem Viertel ihrer Länge (6 cm) ständig in Wasser getaucht waren. Das von den Steinen aufgenommene Wasser wurde laufend durch neues ersetzt, so daß der Wasserspiegel während der Versuchsdauer konstant gehalten wurde. Wasseraufnahme bzw. Saugfähigkeit wurden als zeitabhängige Gewichtszunahme bezogen auf das Ausgangsgewicht bestimmt. Die in Tafel 2 der Anlage 2 aufgeführten Werte sind jeweils Mittelwerte aus Messungen an 20 Steinen. In Anlage 3 und 4 sind die Ergebnisse in halblogarithmischen Koordinaten grafisch dargestellt. Tabelle 3 gibt einige charakteristische Werte der Wasseraufnahme wieder, die an lufttrockenen Steinen gemessen wurden.

Tabelle 3 - Wasseraufnahme

Wasseraufnahme in Gew.-% nach	Steinsorte	
	A	B
15 Minuten	4,3	3,5
60 Minuten	8,9	8,9
24 Stunden	9,9	10,8
7 Tagen	10,3	11,3
28 Tagen	10,8	12,5

Die Werte lassen erkennen, daß die Unterschiede in der Wasseraufnahme der beiden zur Verfügung stehenden Steinsorten gering waren. In dem für ein Absaugen von Anmachwasser aus dem Mauermörtel infrage kommenden Zeitraum von etwa 8 Stunden beträgt die Differenz weniger als 1 Gew.-%.

2.1.3 Einflüsse auf die Druckfestigkeit der Kalksandsteine.

In Vorversuchen, über die in einem späteren Abschnitt noch eingehender berichtet wird, war geklärt worden, in welcher Weise die angelieferten

Kalksandsteine vorbehandelt werden mußten, um zum Aufmauern der Probekörper weitgehend wassergesättigte Steine mit möglichst gleichem Feuchtigkeitsgehalt zur Verfügung zu haben. Hierzu wurden die Steine 7 Tage unter Wasser gelagert und anschließend 2 Tage an der Luft getrocknet. Danach wurden sie vermauert. Die Probekörper standen alsdann 28 Tage bis zur Prüfung in der Prüfhalle.

Es galt in etwa zu klären, welchen Einfluß diese Art der Vorbehandlung auf die Druckfestigkeit des Steinmaterials hat. Dazu wurden Proben untersucht, die zuvor folgendermaßen gelagert worden waren:

- a) an der Luft - im folgenden als "lufttrocken" bezeichnet
- b) 7 Tage unter Wasser
- c) 7 Tage unter Wasser und 2 Tage an der Luft - im folgenden als "naß" bezeichnet
- d) 7 Tage unter Wasser und 30 Tage an der Luft.

Im lufttrockenen Zustand wurden mit Zementmörtel abgegliche ganze Steine sowie unbehandelte ganze und halbe Steine geprüft. Die Prüfung der abgeglichenen ganzen Steine (Einzelheiten vergl. Anlage 5) erfolgte lediglich für einen Vergleich mit den Proben nach DIN 106.

Die Prüfungen an lufttrockenen, rohen, ganzen und halben Steinen wurden durchgeführt, um die Aussagegenauigkeit einer verhältnismäßig schnellen und einfachen Untersuchungsmethode zu überprüfen. Die Druckflächen der Steine wurden bei dieser Schnellprüfung lediglich mit einer Bürste abgefeigt, ehe sie zwischen die Druckplatten der Presse gelegt wurden. Die Streuungen der Einzelergebnisse waren hierbei größer als bei abgeglichenen Proben. Doch schien die Methode hinreichend genau, um mit ihrer Hilfe den Einfluß unterschiedlicher Feuchtigkeitsgehalte auf die Druckfestigkeit von Kalksandvollsteinen ermitteln zu können. Tabelle 4 bringt eine Zusammenstellung der an verschiedenen Probekörperformen im lufttrockenen Zustand ermittelten Druckfestigkeiten.

Tabelle 4 - Druckfestigkeiten

Probe- körper	Druckflächen	Steinsorte			
		A		B	
		kp/cm ²	% ⁺	kp/cm ²	%
nach DIN 106	mit Zementmörtel abgeglichen	154	100	141	100
1/1 Stein	mit Zementmörtel abgeglichen	294	191	258	183
1/1 Stein	roh	283	184	238	169
1/2 Stein	roh	250	162	215	153

+) bezogen auf die am Probekörper nach DIN 106 festgestellten Druckfestigkeiten.

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, daß der Einfluß der Probekörperform, insbesondere der Probenhöhe, auf das Ergebnis der Prüfung erheblich ist. Die Druckfestigkeiten, die an abgeglichenen und rohen, ganzen Kalksandsteinen erzielt wurden, zeigen verhältnismäßig geringe Unterschiede. In Anlage 10 sind die vorstehenden Ergebnisse grafisch dargestellt.

Die Abhängigkeit zwischen Vorbehandlung bzw. Feuchtigkeitsgehalt der Steine und ihrer Druckfestigkeit wurde außer an Proben nach DIN 106 und rohen ganzen Steinen auch an halben Kalksandsteinen ermittelt. Auf diese Weise konnten jeweils die Ergebnisse von lufttrockener und wassergelagerter Steinhälfte miteinander verglichen werden; Streuungen infolge Auswahl stark unterschiedlicher Steine konnten somit das Ergebnis nicht beeinflussen; die an halbierten Steinen gewonnenen Ergebnisse bilden eine gute Bestätigung der an den anderen Probekörpern festgestellten Tendenzen. Die an den einzelnen Probekörpern gewonnenen Feuchtigkeitsgehalte und Druckfestigkeiten sind in den Tafeln 4 bis 6 der Anlagen 6 bis 8 zusammengestellt. Eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse bietet Tabelle 5.

Tabelle 5 - Abnahme der Druckfestigkeiten

Steinsorte	Lagerung		Probekörper		
			DIN 106	1/1 Stein roh	1/2 Stein roh
A	L	Druckfestigkeit kp/cm ²	154	283	250
	7 Tg.W, 2 Tg.L ("naß")	Druckfestigkeit kp/cm ²	149	267	237
		Festigkeitsabnahme % +)	3	6	5
	7 Tg.W, 30 Tg.L	Druckfestigkeit kp/cm ²	151	273	241
		Festigkeitsabnahme % +)	2	4	4
B	L	Druckfestigkeit kp/cm ²	141	238	215
	7 Tg.W, 2 Tg.L ("naß")	Druckfestigkeit kp/cm ²	135	214	198
		Festigkeitsabnahme % +)	4	10	8
	7 Tg.W, 30 Tg. L	Druckfestigkeit kp/cm ²	137	225	202
		Festigkeitsabnahme % +)	3	5	6

+) bezogen auf die lufttrockenen Proben

In Anlage 12 ist die Abhängigkeit zwischen Feuchtigkeitsgehalt und Druckfestigkeit der Kalksandsteine grafisch dargestellt. Die Kurven zeigen bei allen Probekörperformen etwa den gleichen Verlauf. 2 Tage nach Beendigung der Wasserlagerung ist danach mit Festigkeitsminderungen zwischen 3% und 10% zu rechnen; nach weiteren 28 Tagen Trocknung sind noch Minderungen zwischen 2% und 6% zu erwarten.

Für das Tragvermögen des aus "nassen" Steinen errichteten Mauerwerks bedeutet dies, daß mit entsprechend herabgesetzten Bruchlasten gerechnet werden muß, sofern sich die Verwendung "nasser" Steine nicht günstig auf das Abbinden des Mörtels -und damit auf das Tragverhalten der Mauerwerkskörper - auswirkt.

2.1.4 Biegezugfestigkeit

Neben der Druckfestigkeit ist die Biegezugfestigkeit der verwendeten Steine für die Tragfähigkeit eines Mauerwerkskörpers von Bedeutung. Sie wurde daher am lufttrockenen und "nassen" Material geprüft. Die Steine wurden als Balken auf 2 Stützen statisch bestimmt gelagert. Die Stützweite betrug das Dreifache der jeweiligen Steinhöhe. Die Belastung erfolgte durch eine Schneidenlast in $l/2$. Auflager- und Lastangriffsstellen waren mit Gipsmörtelleisten planparallel abgeglichen worden, so daß eine gleichmäßige Lasteintragung in den gesamten Probenquerschnitt gewährleistet war. Tabelle 6 gibt eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse, Einzelheiten können aus Anlage 13 ersehen werden.

Tabelle 6 - Biegezugfestigkeit

Steinsorte	Lagerung	Mittel	Streuung
		kp/cm ²	kp/cm ²
A	lufttrocken	22	3,4
	"naß"	19	2,2
B	lufttrocken	26	2,7
	"naß"	23	1,6

Die Tabelle zeigt, daß die Steine der Sorte "B" trotz geringerer Druckfestigkeit eine höhere Biegezugfestigkeit als die Steine der Sorte "A" aufwiesen. Bei beiden Steinsorten trat - entsprechend der Erscheinung bei der Druckfestigkeit - bei Wasseraufnahme eine Abminderung der Biegezugfestigkeit ein.

2.2 Zement

Zur Herstellung des Mauermörtels wurde ein Portlandzement PZ 275 verwendet. Vor Versuchsbeginn wurde dieser Zement nach DIN 1164 geprüft. Die im Alter von 7 und 28 Tagen erzielten Festigkeiten sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7 - Zement nach DIN 1164

Alter der Prismen	Biegezug-	Druck-
	festigkeit kp/cm ²	festigkeit kp/cm ²
7 Tage	69	305
28 Tage	83	451

Der verwendete Zement entsprach aufgrund der erzielten Ergebnisse bereits den Anforderungen an einen Z 375.

2.3 Mauersand

Zur Mörtelherstellung wurde gewaschener Mauersand der Korngruppe 0 - 1 mm benutzt. Die Untersuchung der Sieblinie ergab die in Tabelle 8 aufgeführte Kornzusammensetzung.

Tabelle 8 - Kornzusammensetzung

Korngruppe in mm	Anteile in Gewichts-%	
	einzel	Summe
0 - 0,2	24,0	24,0
0,2-1,0	73,7	97,7
1,0-3,0	2,3	100,0

Bei der chemischen Analyse des Sandes wurden keine schädlichen Bestandteile festgestellt, auch war er frei von organischen Beimengungen.

2.4 Kalk

Für die Herstellung des Mauermörtels stand Weißkalkhydrat zur Verfügung. Die Untersuchung nach DIN 1060 ergab im Alter von 28 Tagen eine Biegezugfestigkeit von $\sigma_{bz} = 2,4 \text{ kp/cm}^2$ und eine Druckfestigkeit von $\sigma_d = 6,0 \text{ kp/cm}^2$.

2.5 Mörtel

Zum Aufmauern der Probekörper wurde Mörtel der Gruppe II nach DIN 1053 aus den unter 2.2. bis 2.4. beschriebenen Ausgangsstoffen hergestellt. Der Mauermörtel wurde geschmeidig und "kellengerecht" angemacht. Das Mischungsverhältnis nach Raumteilen betrug 1 : 2 : 8 (PZ 275: Kalk:Sand 0/1). Von sämtlichen Mischungen wurde das Ausbreitmaß bestimmt. Die Wasserzugabe erfolgte so, daß bei allen Mischungen ein Ausbreitmaß von ca. 18,3 cm eingehalten wurde. Das Mischen des Mörtels erfolgte in einem Zwangsmischer.

Zu jeder der aufgemauerten Wände wurde in Anlehnung an DIN 1164 ein Satz = 3 Mörtelprismen hergestellt. Beim Aufmauern der Pfeiler erfolgte die Probenahme für je 6 Pfeiler des Typs "P" bzw. 20 Pfeiler des Typs "K". Die Mörtelprismen wurden unter den gleichen Bedingungen gelagert, wie die mit dem Mörtel hergestellten Mauerwerkskörper. Diese standen bis zur Prüfung im Alter von 28 Tagen in einer beheizten Halle mit einer durchschnittlichen Raumtemperatur von + 23°C und rd. 45 % rel. Luftfeuchtigkeit. Etwa zum selben Zeitpunkt, an dem die aufgemauerten Wände und Pfeiler auf ihre Tragfähigkeit geprüft wurden, fand die Untersuchung der Mörtelprismen auf ihre Biegezug- und Druckfestigkeit statt. Die Einzelheiten der Mörteluntersuchungen gehen aus Anlage 14 hervor, eine kurze Zusammenfassung bietet Tabelle 9.

T a b e l l e 9 - Mörteluntersuchungen

Form der mit dem Mörtel hergestellten Probekörper	Ausbreitmaß cm	Prüfalter Tage	Raumgewicht lufttrocken kp/dm ³	Biegezugfestigkeit kp/cm ²	Druckfestigkeit kp/cm ²
Wände 125x24x250 cm ³	18,3	28	1,85	11,2	42
Pfeiler "P" 24x24x100 cm ³	18,6	28	1,78	10,4	36
Pfeiler "K" 11,5x24x40 cm ³	18,1	28	1,82	14,9	53

Sämtliche untersuchten Mörtelproben entsprachen damit den Anforderungen an Mörtelgruppe II nach DIN 1053.

3. Versuche an Mauerwerkskörpern

Die Probekörper wurden durch einen Maurer des Instituts vollfugig und handwerksgerecht aufgemauert. Der verwendete Mörtel war kellengerecht und hatte die vorstehend beschriebene Zusammensetzung.

Durch Vorversuche war geklärt worden, wie die Kalksandsteine behandelt werden mußten, um die Saugfähigkeit möglichst weit und bei allen Steinen gleichmäßig herabzusetzen. Die Steine, die als "schwach saugendes" Material vermauert werden sollten, wurden 7 Tage unter Wasser gelagert und anschließend wieder 2 Tage an der Luft getrocknet. Hiernach waren die Steine im Inneren noch stark durchfeuchtet. Außen waren sie soweit abgetrocknet, daß das Mauerwerk der Probekörper gerade nicht ins "Schwimmen" geriet. Ihr Feuchtigkeitsgehalt zum Zeitpunkt des Vermauerns betrug mindestens 6 Gew.-% (vergl. Anlage 7 und 11). Die Saugfähigkeit der "nassen" Steine war spürbar geringer als die der luftgetrocknenen Steine.

Die Vorversuche ergaben, daß ein Mauern mit wassersatten Steinen, die dem Mörtel kein Wasser mehr entzogen, sich nicht verwirklichen ließ. Hierzu hätte ein wesentlich steiferer Mörtel verwendet werden müssen, der sich nur sehr schlecht verarbeiten ließ und zumindest beim Mauerwerk aus luftgetrocknenen Steinen zu sehr ungleichmäßigen Fugen geführt hätte. Unterschiede im Tragverhalten der Proben aus "nassen" und luftgetrocknenen Steinen wären daher weniger auf die verschiedene Saugfähigkeit der Steine als vielmehr auf handwerkliche Mängel des Mauerwerks aus trockenen Kalksandsteinen zurückzuführen gewesen. Aus diesem Grunde wurde dem Arbeiten mit einem Mörtel bauüblicher Steife der Vorzug gegeben. Die handwerkliche Qualität der Mauerwerkskörper aus "nassen" und luftgetrocknenen Steinen fiel damit gleichmäßig aus. Die Unterschiede in der Saugfähigkeit der Steine waren dafür jedoch weniger extrem als ursprünglich beabsichtigt worden war.

3.1 Wände 125 x 24 x 250 cm³

Die Wände sollten sowohl durch mittigen als auch durch außermittigen Druck beansprucht werden. Es wurden jeweils 2 Wände aus luftgetrocknenen Steinen und 2 aus "nassen" Kalksandsteinen errichtet.

3.1.1 Tragverhalten der Wände

Die Wände für mittige Belastung wurden auf ca. 10 cm dicken Stahlbetonplatten aufgemauert. Dadurch wurde eine planebene untere Druckfläche für die Versuchskörper geschaffen. Die oberen Druckflächen der Probekörper wurden mit einem dünnen Gipsmörtelbett planparallel abgeglichen. Damit war eine gleichmäßige Lasteintragung in den gesamten Querschnitt der Probekörper gewährleistet. Nach dem Erhärten der Abgleichschichten wurden die Wände in einer 600 - Mp - Wandprüfpresse auf ihr Tragverhalten untersucht. Die Belastung wurde stufenweise um 1/10 der erwarteten Bruchlast erhöht, die Laststeigerungsgeschwindigkeit betrug 5,5 kp/cm²/sec. Nach Erreichen jeder Laststufe wurde die Belastung 1 Minute konstant gehalten, danach wurden während 2 Minuten Verformungsmessungen durchgeführt und alsdann die Last bis

zur nächsten Stufe erhöht. Anlage 16 und 17 zeigen Einzelheiten der Versuchsdurchführung.

Die Prüfung aller Wände erfolgte 28 Tage nach dem Aufmauern. Bis zum Prüftag standen die Probekörper in einer beheizten Halle mit durchschnittlich etwa + 23°C und 45 % rel. Luftfeuchte. In Anlage 15 sind die bei den einzelnen Versuchen erzielten Bruchlasten und -spannungen aufgeführt. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die an mittig belasteten Wänden als Mittelwerte festgestellten Bruchspannungen.

Tabelle 10 - Wände, mittig belastet

Zustand der Steine beim Vermauern	Druckfestigkeiten der	Steinsorte	
		A	B
lufttrocken	Steine kp/cm ²	154	141
	Mörtel kp/cm ²	33,5	47
	Wände kp/cm ²	<u>87</u>	<u>81</u>
	bezogen auf Steinfestigkeit ^{+) %}	56	57
	bezogen auf Mörtelfestigkeit %	259	172
"naß"	Mörtel kp/cm ²	36,5	47
	Wände kp/cm ²	<u>91</u>	<u>92</u>
	bezogen auf Steinfestigkeit ^{+) %}	59	65
	bezogen auf Mörtelfestigkeit %	249	196

+) Festigkeit der lufttrockenen Steine

Setzt man die Bruchspannungen der aus lufttrockenen Steinen errichteten Wände mit 100% an, so erreichten die mit "nassen" Steinen hergestellten Wände bei Steinsorte "A" um 5%, bei Steinsorte "B" um 14% höhere Druckfestigkeiten. In Abschnitt 2.1.3 und 2.1.4 wurde gezeigt, daß die wassergelagerten Kalksandsteine gegenüber den lufttrockenen etwas geringere Biegezug- und Druckfestigkeiten aufweisen. Da die Wandfestigkeiten bei etwa gleichen Mörtelfestigkeiten trotzdem höher sind als bei den aus trockenen Steinen hergestellten Wänden, darf geschlossen werden, daß die Verwendung "nasser" bzw. schwach saugender Kalksandsteine sich günstig auf das Tragvermögen mittig belasteter Wände auswirkt.

Die untersuchten Wände hatten bei einer Dicke von 24 cm eine Höhe von 2,50 m. Die Schlankheit h:d betrug demnach $\lambda \approx 10$. Es wurde Mörtel

der Gruppe II verwendet. Vernachlässigt man die geringfügigen Unterschreitungen der Sollfestigkeit bei den Steinen der Sorte "B", so entsprachen die eingemauerten Steine einem KSV 150. Nach DIN 1053, Tabelle 5, sind für derartige Wände Druckspannungen bis 12 kp/cm^2 zugelassen. Gegenüber diesen zulässigen Spannungen wurden im Versuch die in Tabelle 11 angegebenen Sicherheiten erzielt, wobei wie üblich als Sicherheit das Verhältnis

$$v = \sigma_{\text{Bruch}} / \sigma_{\text{zulässig}} \quad \text{verstanden wird.}$$

Tabelle 11 - Sicherheiten

Zustand der Steine beim Vermauern	Steinsorte	
	A	B
lufttrocken	7,2	6,7
"naß"	7,6	7,7

Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Mörteldruckfestigkeit mit im Mittel 41 kp/cm^2 um 60% über der Mindestanforderung der Mörtelgruppe II (25 kp/cm^2) lag.

Nach Bröcker läßt sich bei bekannter Stein- und Mörteldruckfestigkeit nach der Formel

$$W = \sqrt[3]{K_m \cdot \sqrt{K_s}}$$

die Wanddruckfestigkeit überschläglich bestimmen. In der Formel bedeuten

W = Wanddruckfestigkeit der zentrisch(mittig) belasteten Wand
 K_m = Mörteldruckfestigkeit
 K_s = Steindruckfestigkeit

In der Anlage 40 werden die im Versuch erzielten Werte mit der sich aus der genannten Formel ergebenden Kurve verglichen. Alle Versuchsergebnisse übertreffen die theoretischen Werte etwa um das Doppelte. Es muß hierzu jedoch bemerkt werden, daß die Versuchswände labormäßig, d.h. absolut vollfugig aufgemauert wurden. Bei "bauüblicher" Mauerwerksausführung dürfte die Übereinstimmung zwischen Versuchsergebnissen und überschläglicher Festigkeitsberechnung besser sein.

Bei den außermittig belasteten Wänden wurde die Last in einer Entfernung von $d/3 = 8 \text{ cm}$ vom Rand, d.h. im Kernpunkt, in die Prüfkörper geleitet. Unter der Belastung ergaben sich damit auf der belasteten Wand-

seite theoretische Randspannungen $\sigma_w = 2 \cdot P/F$, auf der lastabgewandten Seite dagegen betrugen die Spannungen theoretisch $\sigma_w = 0$.

Die Last wurde durch Stahlhalbrollen in die Kernpunkte der Wand eingeleitet. Um ein Aufspalten der Wände an den Lasteintragungsstellen zu vermeiden, wurden zwischen die Kalksandsteinwände und die lasteintragenden Stahlrollen ca. 10 cm dicke Stahlbetonplatten als Lastverteilung eingeschaltet. Dies ließ sich auf einfache Weise bewerkstelligen, indem wie bei den mittig belasteten Wänden das Mauerwerk auf einer Betonplatte errichtet wurde. Anstelle der obersten Schicht wurde jedoch ein bewehrter Betonkopf aufbetoniert, auf den zusätzlich eine 2,5 cm dicke Stahlplatte aufgemörtelt wurde. Die Belastung erfolgte in der gleichen Weise wie bei den mittig beanspruchten Bauteilen. Da befürchtet werden mußte, daß diese Wände ausknickten, wurden keine Verformungsmessungen durchgeführt; die Belastung wurde wie bei den zentrisch belasteten Wänden 3 Minuten konstant gehalten. Aus Anlage 16 gehen Einzelheiten des Versuchsaufbaus hervor. In Anlage 15 sind die bei den einzelnen Versuchen erzielten Bruchlasten und die daraus errechneten Randspannungen zusammengestellt. Tabelle 12 gibt einen Überblick über die als Mittel aus je 2 Versuchen an exzentrisch belasteten Wänden im Bruchzustand festgestellten Randspannungen.

Tabelle 12 - Wände, außermittig belastet

Zustand der Steine beim Vermauern	Druckfestigkeiten der	Steinsorte	
		A	B
lufttrocken	Steine kp/cm^2	154	141
	Mörtel kp/cm^2	35	49
	Wände kp/cm^2 ^{+))}	<u>133</u>	<u>124</u>
	bezogen auf Steinfestigkeit $\%$ ⁺⁺⁾	86	88
	bezogen auf Mörtelfestigkeit $\%$	380	253
"naß"	Mörtel kp/cm^2	43	45
	Wände kp/cm^2 ^{+))}	<u>118</u>	<u>141</u>
	bezogen auf Steinfestigkeit $\%$ ⁺⁺⁾	77	100
	bezogen auf Mörtelfestigkeit $\%$	274	313

+) Randspannungen $\beta_w = 2 \cdot P/F$ ++) Festigkeit der lufttrockenen Steine

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, daß sowohl die Einzelergebnisse als auch die Mittelwerte stärker streuen als bei den zentrisch belasteten Wänden. Eine eindeutige Tendenz läßt sich aus den Versuchsergebnisse nicht herleiten: Bei den "naß" aufgemauerten Wänden der Steinsorte "A" liegen die Randspannungen im Mittel um 11% unter den Werten der mit luftgetrockneten Steinen errichteten Wände; bei den mit "nassen" Steinen der Sorte "B" gemauerten Probekörpern liegen sie dagegen im Mittel um 11% über den Werten des luftgetrockneten Mauerwerks. Aus den Bruchbildern der Wände läßt sich keine Erklärung für die großen Streuungen herleiten. Alle exzentrisch belasteten Wände zeigten das gleiche, aus Anlage 19 ersichtliche schalenartige Abplatzen der Steine auf der Druckseite der Mauerwerkskörper.

3.1.2 Verformungsverhalten der Wände

An den mittig belasteten Wänden wurden während jeder Laststufe Verformungsmessungen durchgeführt. Auf beiden Seiten jeder Wand wurden auf jeweils 6 Meßstrecken mit einem Setzdehnungsmesser mit 50 cm Basis die Stauchungen des Mauerwerks gemessen. Anlage 17 zeigt diese Messung. In Anlage 20 sind die Meßergebnisse zusammengestellt. Die dort angegebenen Zahlenwerte sind Mittel aus jeweils 12 Einzelmessungen, die maximal um $\pm 7\%$ vom Mittel abwichen. Die grafische Darstellung der Spannungs-Dehnungsdiagramme auf Anlage 21 zeigt deutlich, daß bei beiden Steinsorten die Stauchungen der mit "nassen" Steinen gemauerten Wände geringer sind als bei den mit luftgetrockneten Kalksandsteinen hergestellten Probekörpern. Wie die Tabelle 13 zeigt, sind dementsprechend die E-Moduli der "naß" gemauerten Wände höher als die der aus trockenen Steinen errichteten Proben.

Tabelle 13 - E-Modul der Kalksandsteinwände

Zustand der Steine beim Vermauern	Steinsorte A	Steinsorte B
	kp/cm ²	kp/cm ²
lufttrocken	52000	46500
"naß"	72500	57500

Im Gegensatz zum Tragverhalten der Wände, wo z.T. erhebliche Streuungen eine gesicherte Aussage erschweren, lagen die Werte der Verformungsmessungen dicht beieinander. Eindeutig läßt sich feststellen, daß das aus "nassen" -bzw. schwach saugenden - Kalksandsteinen hergestellte Mauerwerk unter Last geringere Verformungen erfährt als das mit luftgetrockneten -bzw. stärker saugenden - KSV errichtete.

Die geringeren Stauchungen bei den aus "nassen" Steinen gemauerten Wänden dürften auf bessere Verdichtung der Fugen in diesem Mauerwerk zurück-

zuföhren sein. "Nasse" Steine, d.h. Kalksandsteine mit beim Einmauern bereits vorhandener hoher Eigenfeuchte oder sehr geringer Saugfähigkeit, entziehen dem Fugenmörtel kaum Wasser. Sie "schwimmen" nahezu auf der Lagerfuge. Unter der Belastung durch das Gewicht des Steines und das der nächstfolgenden Schichten sowie durch die Verdichtungsarbeit des Maurers auf den Stein (leichtes Klopfen) wird der Mörtel der Lagerfuge verdichtet. Diese Verdichtung geschieht umso leichter, je weniger Wasser dem Fugenmörtel entzogen wird, d.h. je flüssiger er ist und je gleichmäßiger er sich daher unter dem Stein verteilen kann. Steine, die dem Mörtel kaum Feuchtigkeit entziehen und nahezu schwimmen, setzen sich schon während des Mauervorganges. Insgesamt scheint die Verwendung schwach saugender oder "nasser" Steine zur Ausbildung dichter und gleichmäßig verdichteter Lagerfugen zu führen.

3.2. Pfeiler "P" 24 x 24 x 100 cm³

Es wurden jeweils 3 Pfeiler aus lufttrockenen und 3 aus nassen Kalksandsteinen errichtet. Die Vorbereitung, Lagerung und Prüfung der Pfeiler erfolgte wie bei den Wänden. Auf Anlage 23 sind die Probekörper sowie die Belastungseinrichtung dargestellt.

3.2.1 Tragverhalten der Pfeiler

Tabelle 14 enthält die Mittelwerte der Bruchspannungen, die an den Pfeilern bei mittiger und ausmittiger Belastung im Alter von 28 Tagen gemessen wurden. Aus Anlage 22 können die Einzelheiten entnommen werden.

Tabelle 14 - Pfeiler "P" 24 x 24 x 100 cm³

Belastungsart	Zustand der Steine beim Vermauern	Druckfestigkeit der	Steinsorte	
			A	B
mittig	lufttrocken	Steine kp/cm ²	154	141
		Mörtel kp/cm ²	39	39
		Pfeiler kp/cm ²	<u>101</u>	<u>78</u>
	"naß"	Mörtel kp/cm ²	31	31
		Pfeiler kp/cm ²	<u>104</u>	<u>105</u>
außer-mittig	lufttrocken	Mörtel kp/cm ²	43	43
		Pfeiler kp/cm ²	<u>116 +)</u>	<u>114 +)</u>
	"naß"	Mörtel kp/cm ²	30	30
		Pfeiler kp/cm ²	<u>97 +)</u>	<u>143 +)</u>

+) theoretische Randspannung $\sigma_p = 2 \cdot P/F$

Bei den mittig belasteten, aus "nassen" Steinen errichteten Pfeilern wurden - trotz geringerer Festigkeit des Mörtels - höhere Bruchspannungen als bei den Pfeilern aus trockenen Kalksandsteinen festgestellt. Ebenso wie bei den außermittig belasteten Wänden lassen sich auch bei den exzentrisch belasteten Pfeilern keine eindeutigen Tendenzen feststellen.

3.2.2 Verformungsverhalten der Pfeiler

Wie bei den Wänden, so wurden auch bei den mittig belasteten Pfeilern während jeder Laststufe Verformungsmessungen vorgenommen. An allen 4 Seiten der Pfeiler befand sich je eine Meßstrecke von 50 cm Länge. Die Messung der Stauchungen erfolgte mit einem Setzdehnungsmesser. In Anlage 24 sind die Meßergebnisse zusammengefaßt. Die dort ausgeführten Zahlenwerte sind Mittelwerte aus jeweils 4 Einzelmessungen, die maximal $\pm 9\%$ vom Mittel abwichen. Genau wie bei den Wänden zeigen die Spannungs-Dehnungsdiagramme (Anlage 25) der Pfeiler, daß die mit "nassen" Steinen aufgemauerten Proben geringere Verformungen aufweisen als die Probekörper aus trockenen Steinen. Es ist dies hier umso erstaunlicher, als die Mörtel der mit trockenen Kalksandsteinen hergestellten Pfeiler die höhere Druckfestigkeit aufweisen (39 kp/cm^2 gegenüber 31 kp/cm^2 bei den Pfeilern aus "nassen" Steinen). Wie Tabelle 15 zeigt, ist der Unterschied in den E-Moduln der beiden Pfeilersorten nicht ganz so ausgeprägt wie bei den Wänden. Dies kann auf die Unterschiede in den Mörtelfestigkeiten zurückzuführen sein.

Tabelle 15 - E-Modul der Pfeiler "P"

Zustand der Steine beim Vermauern	Steinsorte A kp/cm^2	Steinsorte B kp/cm^2
lufttrocken	42000	43500
"naß"	46000	49000

3.3 Pfeiler "K" $11,5 \times 24 \times 40 \text{ cm}^3$

Wegen der geringen Probenzahlen ließ sich an den vorstehend beschriebenen Pfeilern und Wänden der Einfluß einer unterschiedlich starken Wasseraufnahme der Steine auf die Festigkeit des Mauerwerks nicht eindeutig bestimmen. Es wurde daher versucht, an einer größeren Anzahl kleiner Pfeiler, die lediglich aus 5 aufeinander gemörtelten Steinen bestanden, diese Einflüsse nachzuweisen. Außerdem sollte untersucht werden, inwieweit durch Stoßfugen die Tragfähigkeit des Mauerwerks beeinträchtigt wird und in welcher Weise eine Feuchtraumlagerung das Tragverhalten beeinflusst. Hierzu wurden von jeder Steinsorte jeweils 30 Pfeiler des Typs I und des Typs II hergestellt. Typ I bestand aus 5 ganzen Kalksandvollsteinen; Typ II wurde aus 3 ganzen und 2 x 2 halben Kalksandvollsteinen hergestellt. Die genauen Abmessungen der

Pfeiler sind aus Anlage 26 ersichtlich.

3.3.1 Tragverhalten der Proben

Jeweils 10 kleine Pfeiler wurden aus lufttrockenen und aus "nassen" Kalksandsteinen beider Sorten hergestellt und im Normklima (20° C, 65% rel. Feuchte) gelagert. Weitere 10 Pfeiler wurden aus trockenen Steinen aufgemauert und 1 Tag nach der Herstellung in einen Nebelraum (20° C, \geq 97 % rel. Feuchte) gebracht. Die Druckflächen sämtlicher kleinen Pfeiler wurden mit Zementmörtel planparallel abgeglichen. 28 Tage nach dem Aufmauern wurden die kleinen Pfeiler in einer Druckpresse auf ihre Tragfähigkeit geprüft. Die Belastung erfolgte mittig und wurde ohne Unterbrechung stetig bis zum Bruch der Proben gesteigert. Die Laststeigerungsgeschwindigkeit betrug - wie bei der Prüfung von Kalksandsteinen nach DIN 106 - 5,5 kp/cm²/sec. Die Anlagen 27 und 28 zeigen, daß die Einzelergebnisse nur verhältnismäßig geringe Streuungen aufwiesen. Aus den in Tabelle 16 zusammengestellten Mittelwerten können daher mit größerer Sicherheit die Einflüsse unterschiedlich starker Saugfähigkeit auf das Tragvermögen von Mauerwerk hergeleitet werden als aus den an lediglich 2 Wandpaaren erzielten Ergebnissen.

Tabelle 16 - Bruchspannungen der Pfeiler "K"

Steinsorte	Zustand der Steine beim Vermauern	Pfeiler Typ I Pfeiler Typ II			
		Lagerung der Pfeiler bis zur Prüfung			
		Normklima	Nebelraum	Normklima	Nebelraum
		kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²
A	lufttrocken	106	94	106	98
	"naß"	122		119	
	Festigkeitsdifferenz	+ 15%		+ 12%	
B	lufttrocken	106	102	101	99
	"naß"	120		119	
	Festigkeitsdifferenz	+ 13%		+ 18%	

Die Mörtel einander zugeordneter Pfeilerpaare waren nahezu identisch, ihre Druckfestigkeiten dürften daher die aus diesen Ergebnissen ersichtlichen Tendenzen nicht beeinflußt haben.

Die Versuchsergebnisse zeigen:

- a) Der Einfluß von Stoßfugen auf das Tragverhalten der kleinen Pfeiler läßt sich nicht nachweisen. Die Bruchspannungen der Pfeiler des Typs I und II sind nahezu gleich, spürbare Abminderungen traten bei den Pfeilern mit Stoßfugen nicht auf. Inwieweit von diesen Ergebnissen auch auf das Verhalten von Mauerwerksverbänden mit Stoßfugen in größeren Probekörpern geschlossen werden kann, läßt sich nicht absehen.
- b) Bei den im Nebelraum gelagerten Proben traten gegenüber den im Normklima gelagerten Pfeilern Festigkeitsminderungen zwischen 2% und 11% ein. Diese dürften in erster Linie auf den höheren Feuchtigkeitsgehalt und das damit verbundene Absinken der Kalksandsteinfestigkeit zurückzuführen sein.
- c) Die mit "nassen" Kalksandsteinen gemauerten Proben weisen 12% bis 18% höhere Druckfestigkeiten auf als die mit luftgetrockneten Steinen gemauerten Pfeiler. Diese Werte sind etwas höher als die an geschoßhohen Wänden 24 x 125 x 250 cm³ festgestellte Zunahme der Druckfestigkeiten. Die Verwendung "nasser" oder schwach saugender Kalksandsteine wirkt sich demnach günstig auf das Tragvermögen des Mauerwerks aus.

3.3.2 Verformungsverhalten der Proben

Zusätzlich zu den vorerwähnten Pfeilern wurden insgesamt 8 Pfeiler Typ I und 4 Pfeiler Typ II für Verformungsmessungen hergestellt. An diesen Pfeilern wurden folgende Messungen vorgenommen:

- a) Mit Hilfe von 4 zwischen die Druckplatten der Prüfpresse montierten Meßuhren wurden die Gesamtstauchungen der Pfeiler gemessen.
- b) Mit einem Setzdehnungsmesser mit 40 mm Basis wurden auf Vorder- und Rückseite des Pfeilers an je 12 Meßstrecken die Stauchungen des mittleren Steins geprüft.
- c) Die Stauchungen der Fuge über dem mittleren Stein wurden ebenfalls an Vorder- und Rückseite des Pfeilers an je 12 Meßstrecken mit einem Setzdehnungsmesser gemessen.

Die Lage der Meßstrecken ist aus Anlage 26 ersichtlich.

Die Messungen der Gesamtstauchungen der Pfeiler ergaben - ähnlich wie bei den vorhergehenden Versuchen an größeren Prüfobjekten -, daß die aus "nassen" Steinen hergestellten Proben geringere Stauchungen aufweisen. Die Unterschiede sind allerdings weniger ausge-

prägt als bei den größeren Proben (vergl. Spannungsdehnungsdiagramme in Anlage 30 und 31). Tabelle 17 enthält eine Zusammenstellung der an den Pfeilern "K" ermittelten E-Moduli.

Tabelle 17 - E-Moduli der Pfeiler "K"

Zustand der Steine beim Vermauern	Steinsorte A		Steinsorte B	
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II
	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²
lufttrocken	26000	38000	26000	28000
"naß"	29000	29500	29000	30500

Mit einer Ausnahme sind die E-Moduli der aus "naß" vermauerten Steinen bestehenden Pfeiler größer als die der Pfeiler aus trockenen Steinen. Beim Pfeiler II A, lufttrocken, steigt die Spannungs-Dehnungslinie anfangs besonders steil an, um dann später die Linie des entsprechenden Pfeilers aus "nassen" Steinen zu schneiden.

Insgesamt sind die an den Pfeilern "K" festgestellten E-Moduli niedriger als die an den größeren Mauerwerkskörpern gemessenen. Dies dürfte auf die geringere Querdehnungsbehinderung der einzelnen Steine in den schmalen Pfeilern zurückzuführen sein.

In den Anlagen 32 bis 36 sind die Ergebnisse der Messungen an den Einzelsteinen und Fugen zusammengefaßt. Die in Tafel 19 der Anlage 32 angegebenen Zahlen stellen die Mittelwerte aus jeweils 2 x 12 Einzelmessungen dar. Aus den Spannungs-Dehnungsdiagrammen läßt sich in allen untersuchten Fällen folgendes ablesen:

Die Stauchungen der einzelnen "nassen" Steine waren größer als die der trockenen, die Unterschiede sind jedoch verhältnismäßig gering. Der Grund hierfür ist in der zum Zeitpunkt der Prüfung noch vorhandenen restlichen Durchfeuchtung der "naß" vermauerten Stein zu suchen. In Abschnitt 2.1.3 wurde bereits gezeigt, daß - entsprechend dem hier festgestellten geringeren E-Modul - auch die Druckfestigkeit der "naß" vermauerten Steine etwas niedriger war als die der trockenen Kalksandsteine.

Die Fugen in Pfeilern, die mit "nassen" Steinen gemauert wurden, erfuhren geringere Verformungen als die Fugen zwischen trockenen Steinen. Der Unterschied in den Stauchungen der Fugenmörtel war so groß, daß trotz des geringeren E-Moduls der "nassen" Steine die Gesamtverformungen der "naß" gemauerten Pfeiler geringer waren als die der Pfeiler aus trockenen Steinen. Dies läßt - wie bereits erwähnt - auf eine bessere und gleichmäßigere Verdichtung, insbesondere auf eine Nachverdichtung des Fugenmörtels im Mauerwerk aus "nassen" Steinen schließen.

Ebenso wie bei den Gesamtstauchungen der Pfeiler "K" ließen sich auch bei der Verformung der Steine und Fugen keine signifikanten Unterschiede feststellen, die auf einen Einfluß der Stoßfugen auf das Verformungsverhalten hindeuten.

Die Gesamthöhe der kleinen Pfeiler beträgt - bei Vernachlässigung der dünnen Abgleichschichten:

$$h = 5 \cdot 7,1 + 4 \cdot 1,2 = 35,5 + 4,8 = 40,3 \text{ cm.}$$

Die Gesamtstauchung der Pfeiler "K" setzt sich demnach aus dem Anteil der Steine und der Fugen an der Gesamthöhe der Probekörper wie folgt zusammen:

$$\epsilon_{\text{ges}} = \frac{1}{40,3} (35,5 \cdot \epsilon_S + 4,8 \cdot \epsilon_F) = 0,88 \cdot \epsilon_S + 0,12 \cdot \epsilon_F$$

Untersucht man die in den Anlagen 29 und 32 angegebenen Meßwerte entsprechend der vorstehenden Gleichung, so findet man in allen Fällen eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung der errechneten mit den gemessenen Werten. Eine völlige Übereinstimmung findet sich nur selten, sie ist aus mehreren Gründen auch kaum zu erwarten: Es wurde die Verformung nur jeweils eines Steines und einer Fuge gemessen. Es ist nicht anzunehmen, daß alle Steine und Fugen ein jeweils gleichartiges Verformungsverhalten zeigen. Außerdem geben die Messungen über die Fugen nicht nur die Stauchungen des Mörtels sondern auch noch Verformungsanteile der beiden benachbarten Steine an. Aus meßtechnischen Gründen konnten die Meßmarken nicht direkt an die Ränder der Fugen geklebt werden. Die Verformungen der Fugen übertrafen die der Steine jedoch um ein Mehrfaches. Die in den Anlagen 33 bis 36 dargestellten Spannungs-Dehnungslinien geben daher einen hinreichend genauen Überblick über das Verformungsverhalten des Fugenmörtels.

3.3.3 Ungleichförmigkeit der Fugen

Die Einzelmessungen an Fugen und Steinen zeigten, daß die Stauchungen des Materials nicht an allen Stellen gleich groß waren. Insbesondere bei den aus trockenen Kalksandsteinen gemauerten Pfeilern traten bei einzelnen Meßstellen erhebliche Abweichungen vom Mittelwert auf. Dies deutete auf ungleichmäßige Verfüllung und Verdichtung der Fugen und dadurch bedingte örtliche Spannungsspitzen im Fugenmörtel und in den Steinen hin. Es wurde versucht, den Grad dieser ungleichmäßigen Fugen - verdichtung über eine "Ungleichförmigkeitszahl" u sowohl für die Steine als auch für den Mörtel zu erfassen. Es bedeutet die Zahl "u" die auf die mittlere Stauchung bezogene Summe aller Abweichungen von der mittleren Stauchung:

$$u = \frac{\sum |\epsilon_i - \bar{\epsilon}|}{\bar{\epsilon}}, \text{ hierin bedeutet}$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{n} \sum \epsilon_i, \text{ wobei } i = 1 \dots 24,$$

$$n = 24 = \text{Anzahl der Meßstellen je Fuge und Stein,}$$

$$\epsilon_i = \text{örtliche Stauchung an der Meßstelle } i.$$

Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Anlage 37 zusammengestellt und in den Anlagen 38 und 39 in der Form $u = f(\sigma_d)$ getrennt für Fugen und Steine aufgetragen. Vergleicht man die Kurvenzüge miteinander, so stellt man folgendes fest:

Mit wachsender Druckspannung strebt u bei nahezu allen untersuchten Fugen und Steinen einem Endwert zu. Dieser liegt bei den mit luft-trockenen Steinen gemauerten Pfeilern höher als bei den Pfeilern aus "nassen" Steinen.

Bei "nassen" Steinen fällt der Wert u_s von einem hohen Ausgangswert mit steigender Druckbeanspruchung verhältnismäßig schnell auf den Endwert, der zwischen $u_s = 1,1$ bis $1,5$ liegt. Bei trockenen Steinen liegt der Anfangswert niedriger, jedoch werden Endwerte von $u_s = 3,0$ bis $4,5$ erreicht. Die Ungleichförmigkeit ist also deutlich größer; dies zeigt sich u.a. auch an der Abweichung der einzelnen Werte u_s von der ausgleichenden Kurve, sie ist größer als bei den nassen Steinen.

Bei den Fugen zeigen sich ähnliche Verhältnisse wie bei den Steinen, doch sind sie hier weniger stark ausgeprägt. Die Endwerte von u_F liegen in Pfeilern aus "nassen" Steinen zwischen $1,1$ und $1,3$, bei trockenen Steinen dagegen zwischen $1,8$ und $2,1$.

Eine Erhöhung oder wesentliche Änderung der Ungleichförmigkeit in den Pfeilern mit Stoßfugen gegenüber den Proben, die nur aus ganzen Steinen aufgemauert waren, ließ sich nicht feststellen.

Insgesamt lassen die Ergebnisse der Verformungsmessungen an Einzelsteinen und Mörtelfugen den Schluß zu, daß die Verwendung wassergelagerter oder schwach saugender Kalksandsteine die Ausbildung gleichmäßiger und gut verdichteter Lagerfugen begünstigt. Eine gleichmäßig satte Auflagerung der Steine verhindert, daß in den Steinen zusätzlich zu den unter Druckbelastung im Stein herrschenden Spannungen (Druckspannungen parallel zur Lastrichtung, Zugspannungen in der dazu senkrechten Ebene) Biegespannungen auftreten. Die bessere Verdichtung des Mörtels führt dazu, daß Wände oder Pfeiler aus schwach saugenden oder "nassen" Kalksandsteinen unter Belastung geringere Verformungen in der Lastrichtung erfahren als mit lufttrockenen Steinen errichtetes Mauerwerk. Die gleichmäßigere Bettung der Steine im Mörtel führt insgesamt zu Erhöhungen des Tragvermögens von Mauerwerk, das aus wassergelagerten oder schwach saugenden Kalksandsteinen errichtet wird.

4. Zusammenfassung

Der Einfluß der Wasseraufnahme von Kalksandsteinen auf die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten von Mauerwerkskörpern unter zentrischer und exzentrischer Belastung wurde an 2 Sorten Kalksandvollsteinen KSV 2,0/150 NF DIN 106 untersucht. Durch Wasserlagerung und anschließende kurzfristige Trocknung der Steine vor dem Vermauern wurden deutliche Unterschiede in der Saugfähigkeit des Ausgangsmaterials erzielt. In Vorversuchen wurde festgestellt, daß mit der Feuchtigkeitsaufnahme eine geringe Abnahme der Biegezug- und Druckfestigkeiten der Kalksandsteine verbunden war.

Zu den Versuchen wurden Kalkzementmörtel verwendet, die nach DIN 1053 der Mörtelgruppe II entsprachen.

Die Untersuchungen des Trag- und Verformungsverhaltens wurden an 3 Typen von Probekörpern durchgeführt:

- a) Geschoßhohe Wände mit den Abmessungen $125 \times 24 \times 250 \text{ cm}^3$
- b) Pfeiler im Mauerwerksverband mit den Maßen $24 \times 24 \times 100 \text{ cm}^3$
- c) Kleine Pfeiler mit den Abmessungen $11,5 \times 24 \times 40 \text{ cm}^3$

Die Proben zu a) und b) wurden sowohl zentrisch als auch exzentrisch belastet; die Prüfung der kleinen Pfeiler zu c) erfolgte nur bei mittiger Belastung.

Bei allen m i t t i g belasteten Probekörpern aus "nassen" Steinen, die also eine geringe Saugfähigkeit besaßen, wurden Verbesserungen der Tragfähigkeit gegenüber den Proben aus luftgetrockneten Steinen festgestellt. Die Bruchspannungen lagen zwischen 3% und 18% über den Festigkeiten der Proben aus luftgetrockneten Kalksandsteinen. Die Ergebnisse der Versuche an mittig belasteten Proben legen den Schluß nahe, daß bei größerer Saugfähigkeit des verwendeten Steinmaterials dem Mörtel zuviel Wasser entzogen wird. Dadurch ist bei stark wassersaugendem Material eine ausreichend gleichmäßige und satte Mörtelbettung der Kalksandsteine erschwert. Ein großer Teil dieses günstigen Einflusses wird jedoch dadurch kompensiert, daß bei Verwendung schwach saugender Steine dem Fugenmörtel kaum überschüssiges Anmachwasser entzogen wird. Dies bedingt höhere Wasser-Bindemittelwerte und damit geringere Mörtelzugfestigkeiten als bei Verwendung stark saugender Steine. Hierauf dürfte die insgesamt nur geringfügige Verbesserung der Tragfähigkeit des Mauerwerks aus schwach saugenden Kalksandsteinen zurückzuführen sein.

Die Versuche ergaben, daß bei m i t t i g belasteten, geschoßhohen Wänden die Druckfestigkeiten etwa das 7-fache der nach DIN 1053 zulässigen Druckspannungen erreichten; bei Verwendung von schwach saugenden Steinen erhöhte sich die Wanddruckfestigkeit auf das 7,5-fache der zulässigen Beanspruchung.

Ein deutlicher Einfluß der Wasseraufnahme der Steine auf das Tragverhalten des Kalksandsteinmauerwerks unter e x z e n t r i s c h e r Belastung ließ sich bei den Versuchen nicht feststellen.

Die Verformungsmessungen an m i t t i g belasteten Mauerwerkskörpern ließen in allen Fällen deutlich werden, daß die Verwendung schwach saugender Steine sich auf das Verformungsverhalten des Kalksandsteinmauerwerks günstig auswirkt. Die aus "nassen" Steinen hergestellten Probekörper zeigten geringere Stauchungen und höhere E-Moduli als die aus trockenen Steinen gemauerten. Der Grund hierfür ist in der besseren und gleichmäßigeren Verdichtung, insbesondere in einer beim Aufmauern der Proben infolge des Eigengewichts des Mauerwerks einsetzenden Nachverdichtung des Fugenmörtels zu suchen.

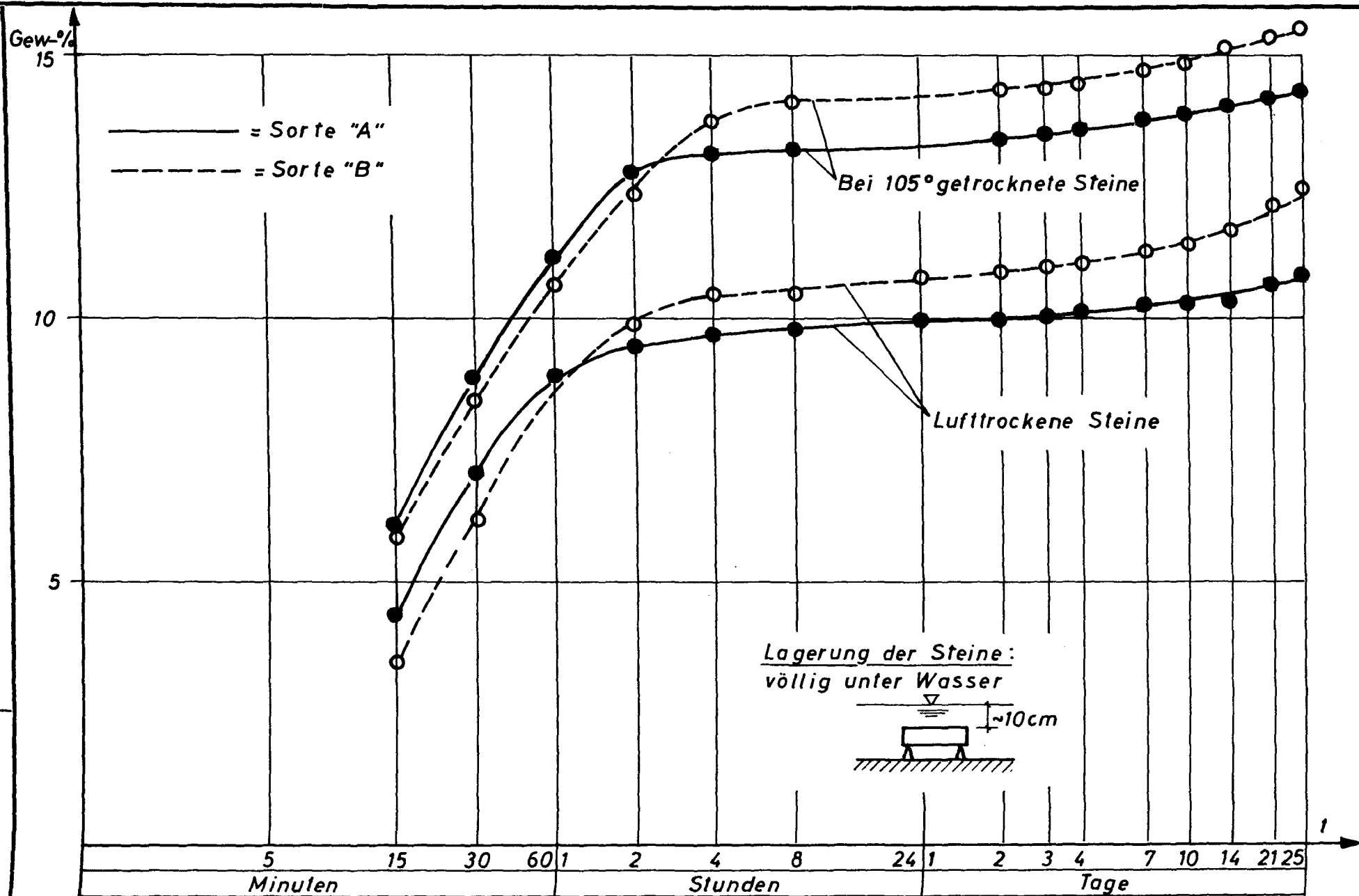
Die Untersuchung des Verformungsverhaltens einzelner Steine und Fugen zeigte, daß die Stauchungen innerhalb eines Steines oder einer Mörtelfuge nicht an allen Stellen den gleichen Betrag aufweisen. Bei aus trockenen Steinen errichteten Proben traten örtliche Abweichungen besonders häufig auf und waren in der Regel größer als beim Mauerwerk aus "nassen" Steinen. Diese Ergebnisse bestätigen, daß in den Fugen des Kalksandsteinmauerwerks aus stark saugenden Steinen der Mörtel ungleichmäßig verdichtet ist. Die örtlich - d.h. an den "Auflagerstellen" der nicht gleichmäßig satt aufliegenden Steine - gemessenen, im Verhältnis zur mittleren Stauchung besonders großen Verformungen der Kalksandsteine deuten darauf hin, daß die Festigkeit des Fugenmörtels stellenweise recht erheblich ist. Durch die ungleichmäßige Auflagerung entstehen Zwängungen und Biegespannungen in den Steinen, die eine Verminderung des Tragvermögens des gesamten, aus stark saugenden Steinen errichteten Mauerwerks bedingen.

Tafel 1: Druckfestigkeit nach DIN 106

Probe	Steinsorte	
	A	B
Nr.	kp/cm ²	kp/cm ²
1	150	175
2	189	151
3	128	140
4	130	137
5	161	145
6	167	145
7	171	141
8	167	151
9	149	144
10	166	142
11	147	120
12	154	121
13	137	126
14	146	132
15	137	131
16	130	136
17	150	147
18	157	137
19	182	133
20	151	150
21	152	128
22	173	150
23	174	124
24	166	153
25	160	124
26	149	145
27	154	121
28	151	125
29	165	135
30	180	152
31	143	166
32	153	174
33	143	140
34	129	147
35	147	142
36	146	145
37	160	135
38	141	152
39	170	153
40	146	115
arithmetisches Mittel	154	141
Maximalwert	189	175
Minimalwert	128	115
Spanne R	61	60
Streuung s	14,9	13,8
Variationsquotient V	9,7%	9,8%

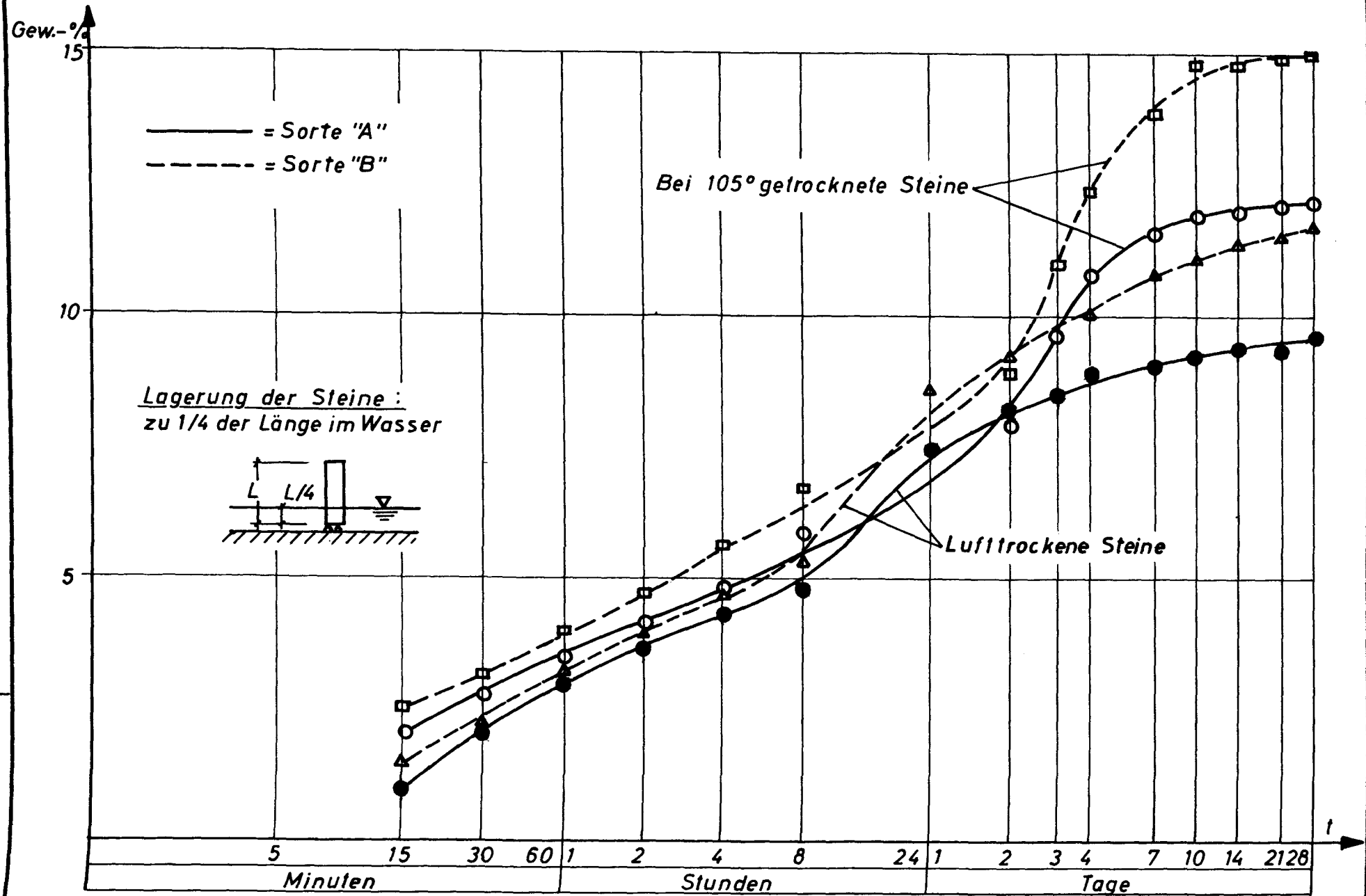
Tafel 2: Wasseraufnahme der Steine in Gew.-%

Lagerung der Steine	Messung nach	Steinsorte			
		A		B	
		lufttrocken	bei 105°C getr.	lufttr.	bei 105°C getr.
völlig unter Wasser	15 Min.	4,28	6,05	3,45	5,80
	30 Min.	7,03	8,84	6,16	8,47
	1 Std.	8,92	11,15	8,92	10,63
	2 Std.	9,42	12,75	9,87	12,37
	4 Std.	9,71	13,11	10,47	13,74
	8 Std.	9,76	13,22	10,50	14,15
	1 Tg.	9,92	-	10,80	-
	2 Tg.	9,98	13,32	10,91	14,31
	3 Tg.	10,07	13,49	11,01	14,40
	4 Tg.	10,15	13,66	11,08	14,48
	7 Tg.	10,27	13,80	11,32	14,70
	10 Tg.	10,28	13,85	11,35	14,82
	14 Tg.	10,30	14,03	11,66	15,13
	21 Tg.	10,60	14,15	12,14	15,38
	28 Tg.	10,81	14,30	12,49	15,54
zu 1/4 der Länge unter Wasser	15 Min.	0,94	2,08	1,51	-
	30 Min.	2,08	2,74	2,24	3,17
	1 Std.	3,02	3,51	3,22	4,00
	2 Std.	3,66	4,12	3,96	4,72
	4 Std.	4,30	4,88	4,73	5,68
	8 Std.	4,84	5,87	5,30	6,78
	1 Tg.	7,44	-	8,60	-
	2 Tg.	8,12	7,94	9,24	8,92
	3 Tg.	8,50	9,66	9,68	11,02
	4 Tg.	8,90	10,71	10,02	12,46
	7 Tg.	9,01	11,63	10,85	13,93
	10 Tg.	9,26	11,98	11,11	14,82
	14 Tg.	9,33	12,01	11,45	14,84
	21 Tg.	9,40	12,14	11,56	14,94
	28 Tg.	9,65	12,21	11,76	14,98



Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 3
 FA 8807/930



Wasseraugfähigkeit der KSV in Gew %
 Lagerung der Steine zu 1/4 L im Wasser

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig

Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 4
 FA 8807 / 930

Tafel 3: Druckfestigkeit am ganzen Stein⁺⁾

Probe	Steinsorte	
	A	B
Nr.	kp/cm ²	kp/cm ²
1	312	262
2	299	266
3	285	267
4	297	239
5	302	247
6	306	257
7	277	247
8	283	272
9	289	260
10	291	259
arithmetisches Mittel	294	258
Maximalwert	312	272
Minimalwert	277	239
Spanne R	35	33
Streuung s	11,1	10,3
Variationsquotient V	3,8%	4,0%

+) Druckflächen planparallel abgeglichen

Tafel 4: Rohdichte nach DIN 106

Probe	Steinsorte	
	A	B
Nr.	kp/cm ³	kp/dm ³
1	1,84	<u>1,83</u>
2	1,86	1,81
3	1,85	<u>1,80</u>
4	1,86	1,82
5	1,84	1,81
6	1,86	1,80
7	<u>1,83</u>	1,82
8	1,87	1,82
9	<u>1,88</u>	1,82
10	1,88	1,80
arithmetisches Mittel	1,86	1,81

Tafel 4: Druckfestigkeit und Wasseraufnahme, gemessen an Proben nach DIN 106

Stein- sorte	Probe- Nr.	Lagerung der Proben bis zur Prüfung								
		unbehandelte Steine	7 Tage Wasserlagerung		7 Tage Wasserlagerung, anschlies- send 2 Tage Luftlagerung			7 Tage Wasserlagerung, an- schließend 30 Tage Luftlage- rung		
		Druckfestig- keit	Druckfestig- keit	Wasserge- halt ^{+) nach 7 Tagen}	Druckfestig- keit	Wassergehalt ^{+) nach}		Druckfestig- keit	Wassergehalt ^{+) nach}	
		kp/cm ²	kp/cm ²	Gew.-%	kp/cm ²	Gew.-%	Gew.-%	kp/cm ²	Gew.-%	Gew.-%
A	1	Mittel	132	8,8	151	9,1	4,2	153	9,1	3,2
	2		134	8,9	156	8,9	4,8	162	9,0	2,7
	3		135	8,4	149	8,9	4,6	158	8,9	3,4
	4	aus Tafel 1	144	8,6	136	8,4	4,2	143	9,1	4,1
	5		139	8,7	149	8,1	3,4	150	8,9	4,3
	6		127	8,8	152	8,3	3,2	146	8,5	3,7
	7		126	9,1	149	9,0	4,0	138	9,0	3,5
	8		136	9,5	144	8,5	3,9	151	8,3	3,4
	9		129	8,7	140	9,1	4,6	151	8,4	3,3
	10		134	8,5	160	9,0	3,8	154	8,1	4,1
Mittel		154	134	8,8	149	8,7	4,1	151	8,7	3,6
B	1	Mittel	134	10,0	137	10,0	4,1	144	10,6	4,9
	2		125	10,4	119	12,2	6,2	141	9,8	4,8
	3		142	9,9	136	10,6	5,3	141	9,9	4,9
	4	aus Tafel 1	124	10,7	124	11,1	5,6	131	10,0	4,9
	5		130	10,1	136	9,2	3,8	145	10,3	4,0
	6		126	9,3	145	10,2	4,8	140	9,4	3,0
	7		127	11,5	129	10,1	5,7	128	10,9	4,8
	8		123	11,2	140	9,9	5,7	136	10,6	4,5
	9		122	9,6	138	9,7	5,6	120	12,1	5,3
	10		132	9,9	142	10,7	5,7	140	10,1	3,4
Mittel		141	129	10,3	135	10,4	5,3	137	10,4	4,5

+) bezogen auf das Gewicht der lufttrockenen Proben

Tafel 5: Druckfestigkeit und Wasseraufnahme, gemessen an ganzen Steinen^{+))}

Stein sorte	Probe Nr.	Lagerung der Steine bis zur Prüfung								
		unbehandelte Steine	7 Tage Wasserlagerung		7 Tage Wasserlagerung, anschl. 2 Tage Luftlagerung			7 Tage Wasserlagerung anschlies- send 30 Tage Luftlagerung		
		Druckfestig- keit	Druckfestig- keit	Wasserge- halt ⁺⁺⁾ nach 7 Tag.	Druckfestig- keit	Wassergehalt ⁺⁺⁾ nach 7 Tagen nach 7 + 2 Tag.		Druckfestig- keit	Wassergehalt ⁺⁺⁾ nach 7 Tagen nach 7 + 30 Tag.	
		kp/cm ²	kp/cm ²	Gew.-%	kp/cm ²	Gew.-%	Gew.-%	kp/cm ²	Gew.-%	Gew.-%
A	1	278	253	10,3	252	10,6	6,6	258	12,0	7,2
	2	276	236	10,5	266	9,8	6,9	269	12,5	5,1
	3	275	233	11,6	260	11,2	6,7	269	8,0	4,5
	4	276	230	10,6	292	10,7	4,9	309	9,0	5,4
	5	281	242	10,9	230	10,2	6,8	272	8,8	5,2
	6	294	237	10,4	266	9,1	5,8	263	10,5	4,4
	7	310	224	11,0	273	8,8	5,9	301	9,9	3,5
	8	293	225	9,1	300	12,4	5,4	273	10,2	3,9
	9	288	241	10,6	266	7,9	4,3	278	10,7	3,4
	10	260	246	10,0	263	12,1	8,7	236	10,2	4,3
	Mittel	283	237	10,5	267	10,3	6,2	273	10,3	4,7
B	1	214	198	10,4	212	10,9	7,4	224	9,9	5,0
	2	222	174	11,2	226	12,6	7,6	237	10,0	4,6
	3	234	188	11,6	214	12,9	9,4	237	9,2	5,3
	4	232	174	12,3	211	11,7	6,6	208	12,2	7,0
	5	255	188	12,1	220	8,6	7,2	230	12,9	5,3
	6	245	209	11,2	204	11,7	8,8	220	12,3	6,0
	7	236	191	11,9	215	10,7	9,4	214	12,9	5,2
	8	262	199	12,2	213	12,2	7,7	223	11,2	5,2
	9	238	198	10,8	197	9,8	8,1	225	10,9	7,0
	10	244	198	11,0	226	9,4	6,6	231	12,1	4,3
	Mittel	238	192	11,5	214	11,1	7,9	225	11,4	5,5

+) Druckflächen unabgeglichen ++)) bezogen auf das Gewicht der lufttrockenen Steine

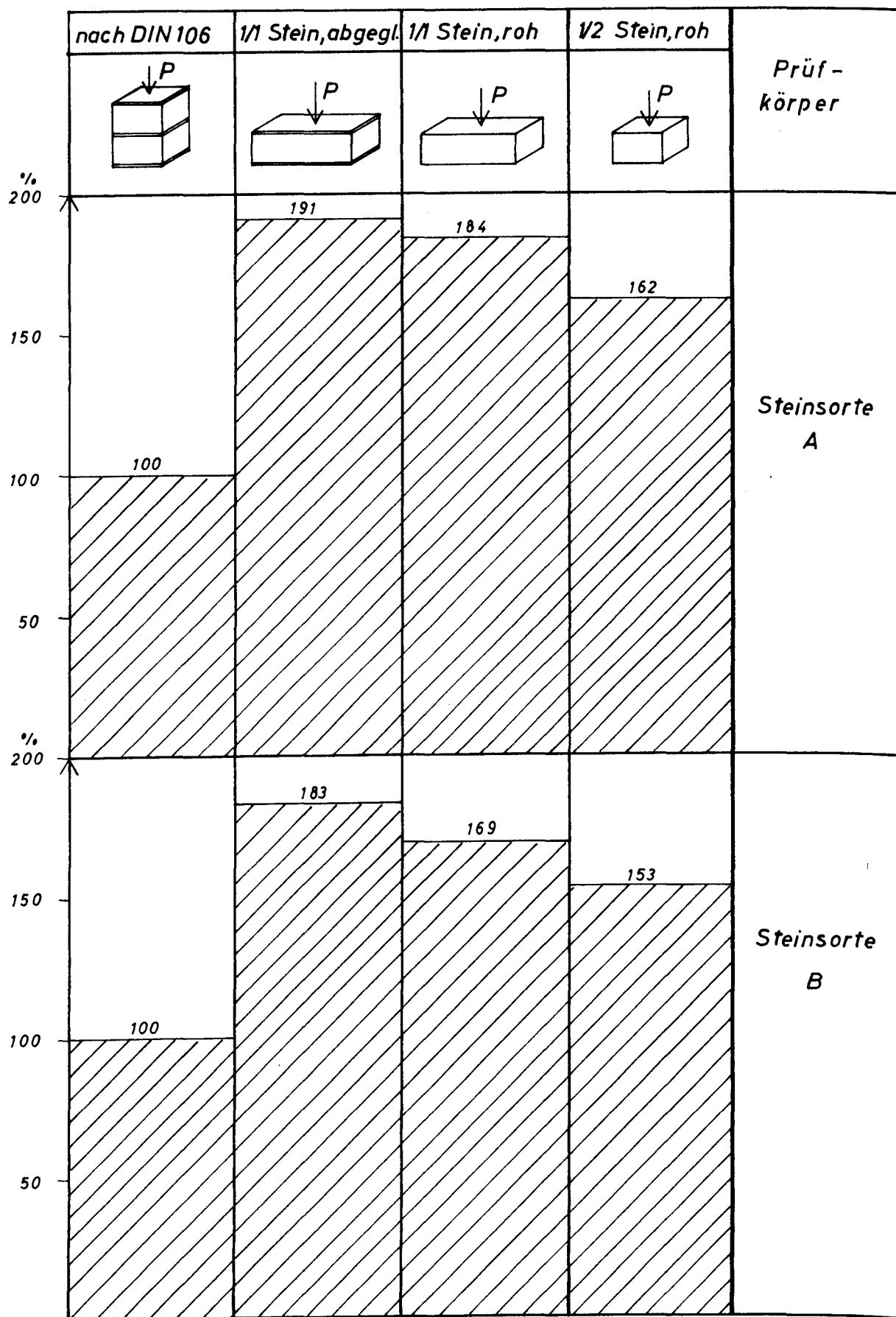
Stein- sorte	Probe	Lagerung der Steine bis zur Prüfung:													
		unbehandelte Steine		7 Tage Wasserlagerung		7 Tage Wasserlagerung, an- schließend 2 Tage Luftla- gerung			7 Tage Wasserlagerung, anschlies- send 30 Tage Luftlagerung						
		Druckfestigkeit der		Druckfestigk.der		Wassergehalt ⁺⁺⁾		Druckfestigk.der		Wasserge- halt ⁺⁺⁾		Druckfestigk.der		Wassergehalt ⁺⁺⁾	
		linken	rechten	unbehand.	wasser- gel.	nach	unbeh.	wassergel.	nach	nach	unbeh.	wassergel.	nach	nach	
		Hälfte	Hälfte	Hälfte	Hälfte	7 Tagen	Hälfte	Hälfte	7 Tag.	7+2Tg.Hälfte	Hälfte	7 Tag.	7+30 Tg.		
Nr.	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	Gew.-%	kp/cm ²	kp/cm ²	Gew.-%	Gew.-%	kp/cm ²	kp/cm ²	Gew.-%	Gew.-%		
A	1	251	264	270	182	10,2	202	227	10,0	3,9	220	209	10,2	2,9	
	2	274	258	240	219	12,9	237	212	10,7	4,4	264	260	10,7	3,3	
	3	272	249	231	203	10,2	243	240	10,8	4,4	241	247	11,2	2,4	
	4	271	275	254	210	9,7	256	268	9,9	3,6	246	248	10,2	3,0	
	5	241	269	253	221	7,1	242	244	9,1	3,0	256	242	10,7	3,0	
	6	240	229	265	225	9,4	262	224	10,9	4,1	237	250	11,0	3,3	
	7	236	256	233	216	10,0	235	251	10,0	3,8	266	237	10,0	3,7	
	8	248	243	249	228	9,5	250	208	10,6	3,7	247	247	10,1	3,7	
	9	238	245	291	200	9,9	242	241	11,1	4,1	259	234	10,1	3,1	
	10	235	255	237	219	10,8	277	250	10,1	3,7	255	238	9,1	2,9	
	Mittel	251	253	252	212	10,0	245	237	10,3	3,9	249	241	10,3	3,1	
B	1	202	210	228	182	10,1	223	201	10,6	3,8	227	205	11,2	2,9	
	2	206	225	207	155	12,0	235	196	10,5	3,4	218	208	12,3	3,4	
	3	212	222	225	181	10,2	214	205	11,1	4,3	207	209	11,7	2,9	
	4	202	225	203	167	12,5	196	198	12,2	5,0	216	187	11,1	3,5	
	5	213	207	235	163	10,2	216	226	12,1	4,9	220	194	12,1	2,9	
	6	218	215	203	166	11,9	215	202	10,5	4,2	222	201	10,1	3,2	
	7	205	215	199	150	10,4	220	189	11,3	4,1	202	193	10,9	3,0	
	8	199	202	221	172	10,7	227	191	12,8	5,0	206	213	12,0	2,9	
	9	240	235	223	162	11,3	201	191	11,2	4,7	210	203	11,8	3,4	
	10	208	227	226	172	10,2	204	185	12,9	5,6	212	203	11,0	2,9	
	Mittel	211	218	217	167	11,0	215	198	11,5	4,5	214	202	11,4	3,1	

06/11/2014

Tafel 7: Vergleich der Kalksandstein-Druckfestigkeiten, die an verschiedenen Probekörpern im lufttrockenen Zustand gemessen wurden.

Probe- körper	Behandlung der Druckflächen	Steinsorte			
		A		B	
		kp/cm ²	% ⁺⁾	kp/cm ²	% ⁺⁾
nach DIN 106	mit Zement- mörtel ab- geglichen	154	100	141	100
ganzer stein	mit Zement- mörtel ab- geglichen	294	191	258	183
ganzer Stein	roh	283	184	238	169
halber Stein	roh	250	162	215	153

+) bezogen auf die am Probekörper nach DIN 106 festgestellten Druckfestigkeiten.



Vergleich der an verschiedenen Probekörpern
gemessenen Kalksandstein - Druckfestigkeiten

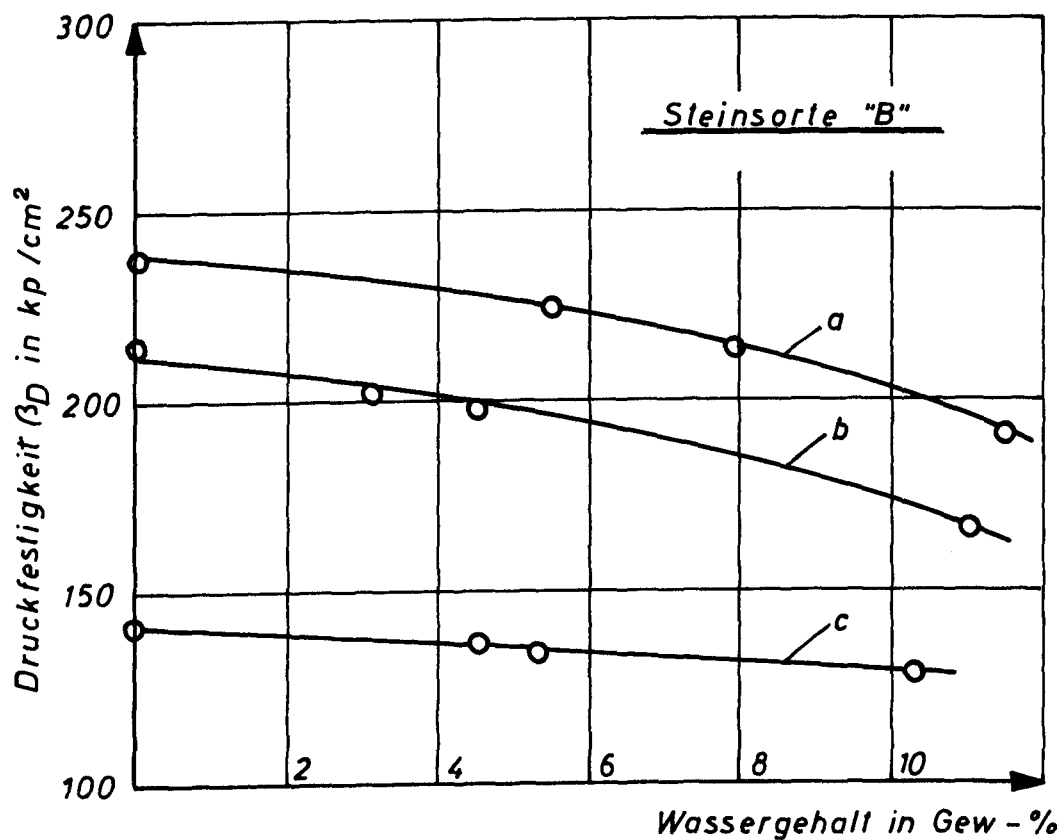
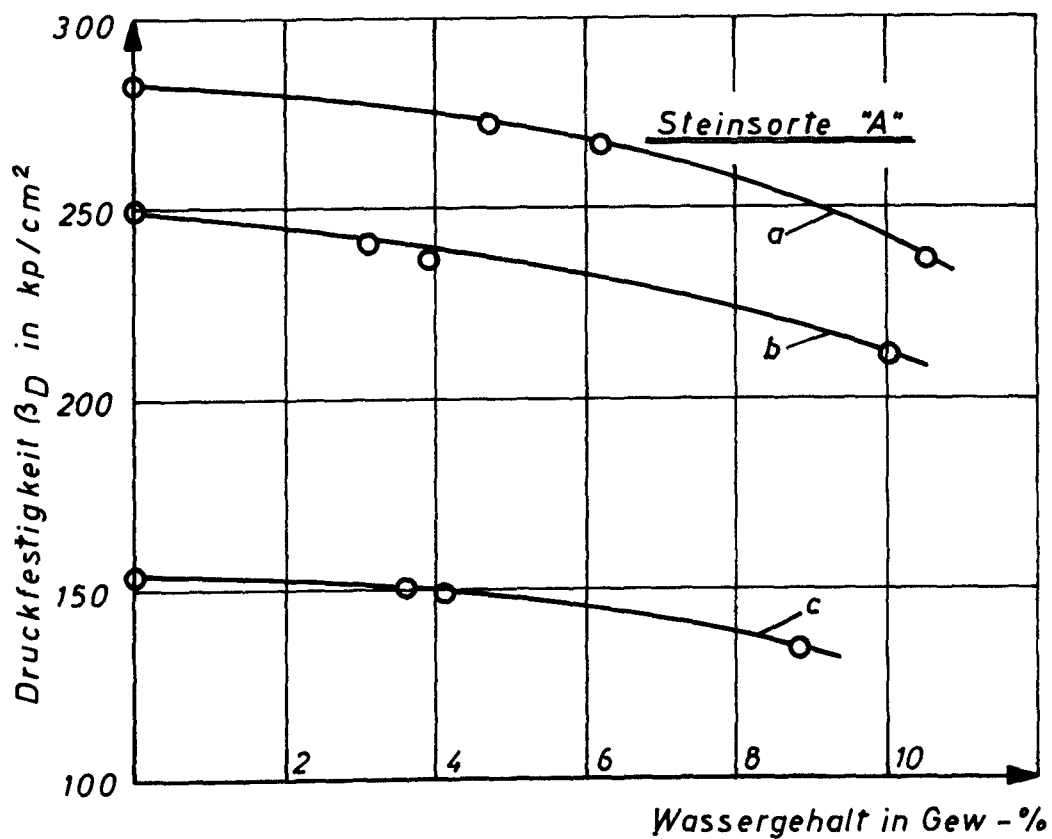
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 10
FA 8807 / 930

Tafel 8: Vergleich der Druckfestigkeitsabnahme

Stein- sorte	Lagerung		Probekörper		
			DIN 106	1/1 Stein roh	1/2 Stein roh
A	Luftlagerung	Druckfestigkeit kp/cm^2	154	283	250
		%	100	100	100
	7 Tage Was- serlagerung, anschl. 2 Ta- ge Luftlage- rung	Feuchtigkeitsge- halt Gew.-% +)	4,1	6,2	3,9
		Druckfestigkeit kp/cm^2	149	267	237
		% +)	97	94	95
		Festigkeitsab- nahme kp/cm^2	5	16	13
		% +)	3	6	5
	7 Tage Was- serlagerung, anschl. 30 Tage Luft- lagerung	Feuchtigkeitsge- halt Gew.-% +)	3,6	4,7	3,1
		Druckfestigkeit kp/cm^2	151	273	241
		% +)	98	96	96
		Festigkeitsab- nahme kp/cm^2	3	10	9
		% +)	2	4	4
B	Luftlagerung	Druckfestigkeit kp/cm^2	141	238	215
		%	100	100	100
	7 Tage Was- serlagerung, anschl. 2 Ta- ge Luftlage- rung	Feuchtigkeits- gehalt Gew.-% +)	5,3	7,9	4,5
		Druckfestigkeit kp/cm^2	135	214	198
		% +)	96	90	92
		Festigkeitsab- nahme kp/cm^2	6	24	17
		% +)	4	10	8
	7 Tage Was- serlagerung, anschl. 30 Tage Luft- lagerung	Feuchtigkeitsge- halt Gew.-% +)	4,5	5,5	3,1
		Druckfestigkeit kp/cm^2	137	225	202
		% +)	97	95	94
		Festigkeitsab- nahme kp/cm^2	4	13	13
		% +)	3	5	6

+) bezogen auf die lufttrockenen Proben

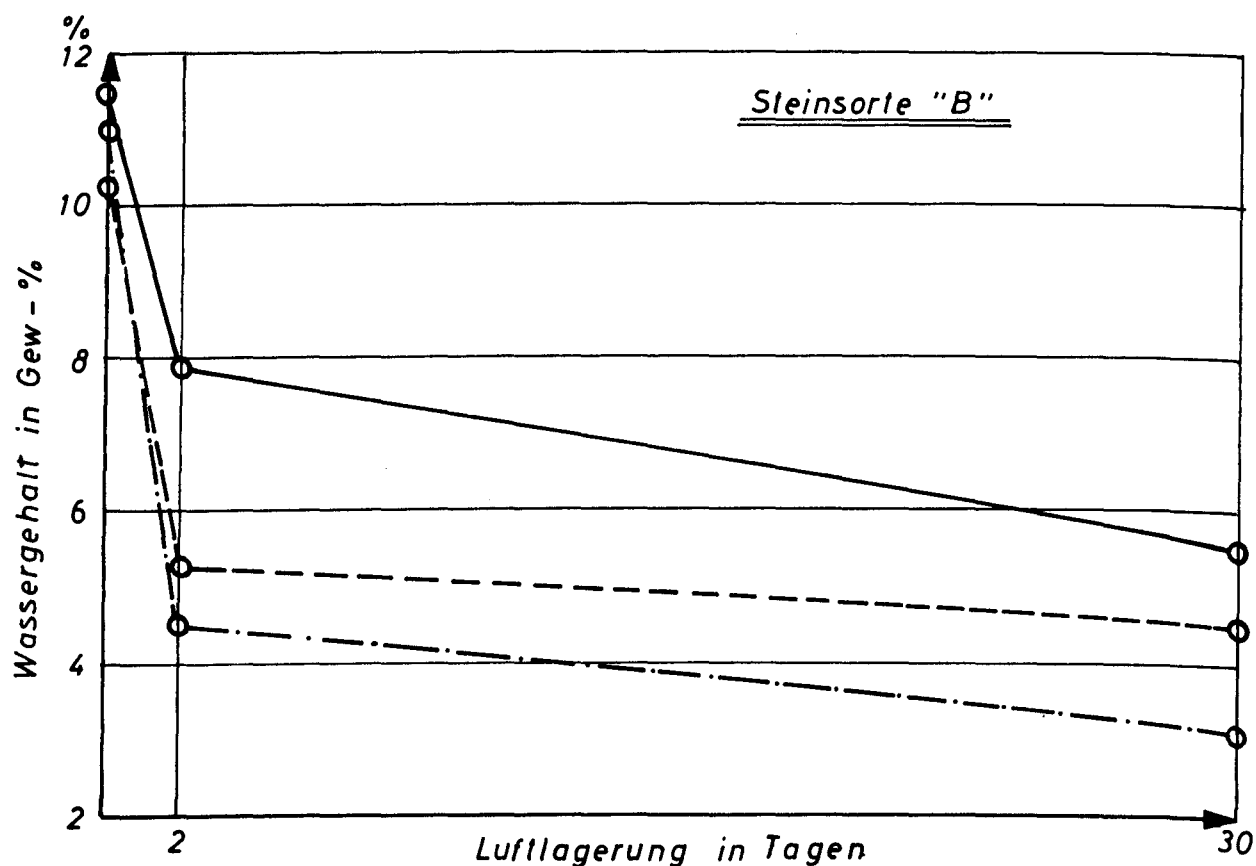
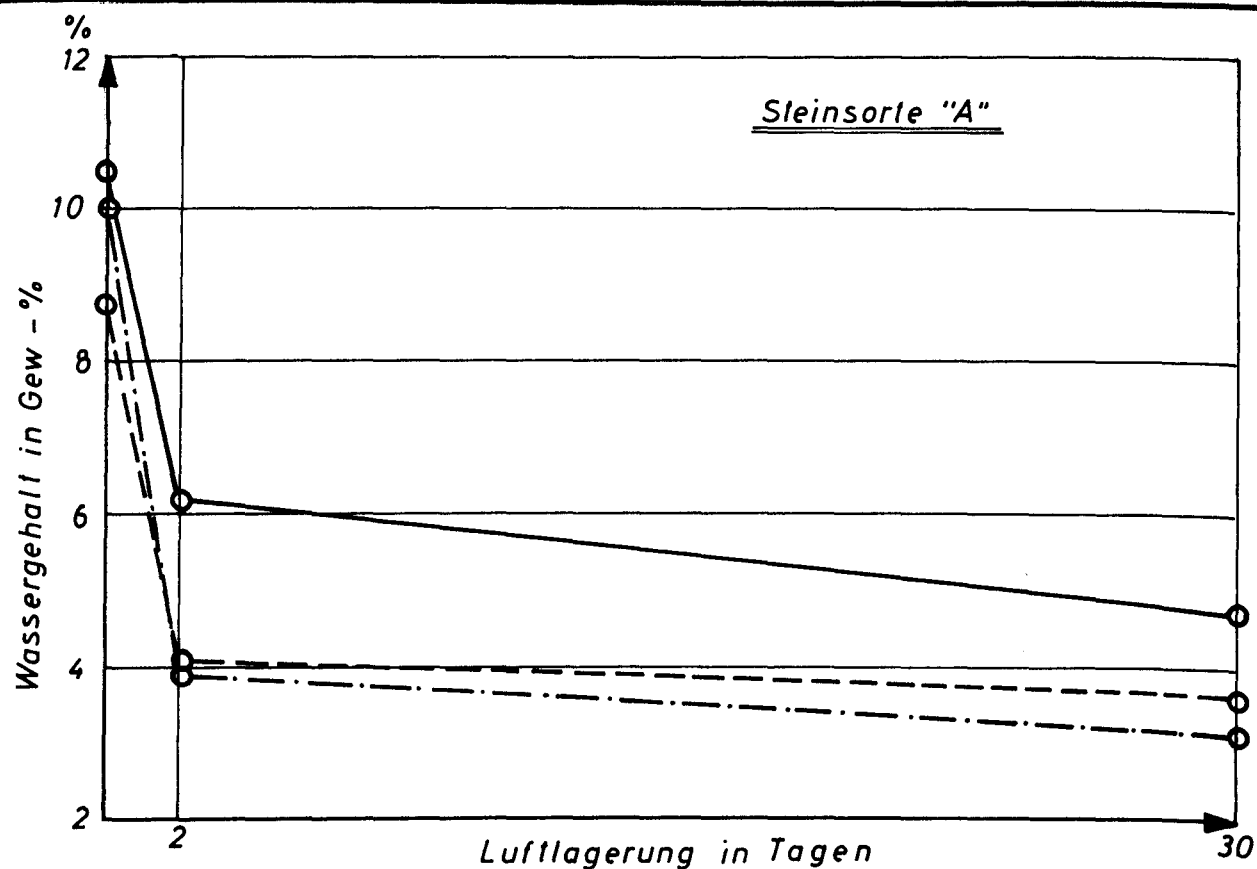


a = ganze Steine; b = halbe Steine; c = Probekörper nach DIN 106

Abhängigkeit zwischen Wassergehalt und
Druckfestigkeit β_D der Kalksandsteine

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 12
FA 8807/930



--- = Proben nach DIN 106; — = ganze Steine; — · — = halbe Steine;

Zeitliche Abnahme des Feuchtigkeitsgehalts von Kalksandsteinproben nach vorheriger, 7tägiger Wasserlagerung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 12 a
FA 8807/930

Tafel 9: Biegezugfestigkeit am lufttrockenen Stein

Probe	Steinsorte	
	A	B
Nr.	kp/cm ²	kp/cm ²
1	25	31
2	25	28
3	24	24
4	18	27
5	26	26
6	17	27
7	21	27
8	24	23
9	25	24
10	19	22
arithmetisches Mittel	22	26
Maximalwert	26	31
Minimalwert	17	22
Spanne R	9	9
Streuung s	3,4	2,7
Variationsquotient V	15,5%	10,4%

Tafel 10: Biegezugfestigkeit nach 7 Tagen Wasserlagerung, 2 Tage Luftlagerung

Probe	Steinsorte	
	A	B
Nr.	kp/cm ²	kp/cm ²
1	20	22
2	18	24
3	19	25
4	19	22
5	22	22
6	23	23
7	17	22
8	18	22
9	17	22
10	16	23
arithmetisches Mittel	19	23
Maximalwert	23	25
Minimalwert	16	22
Spanne R	7	3
Streuung s	2,2	1,6
Variationsquotient V	11,6%	7%

Tafel 11: Mörteluntersuchungen

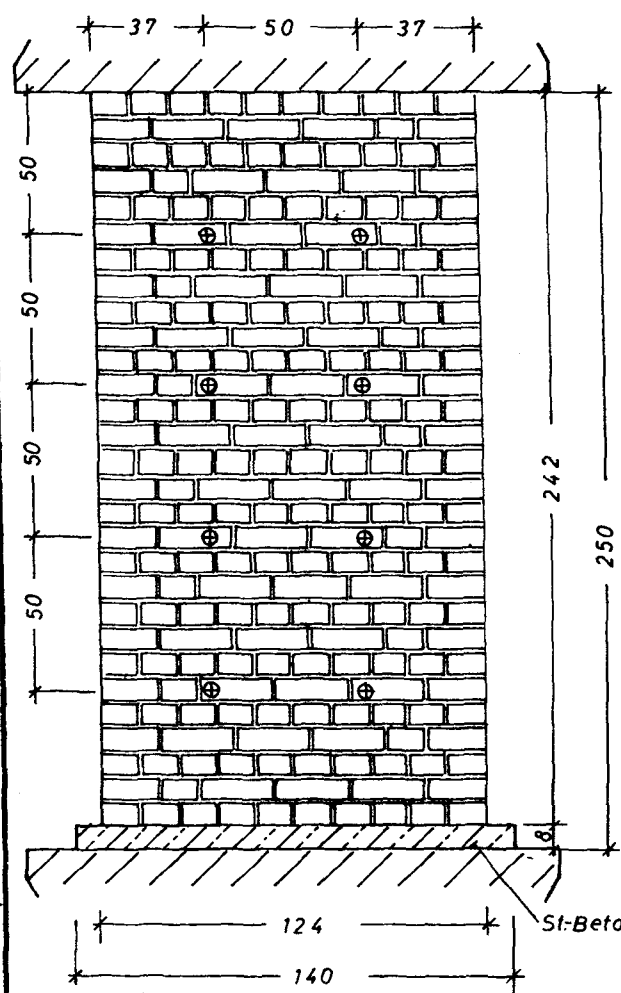
Form der Probe- körper	Probe	Ausbreitmaß	Prüfalter	Raumge- wicht lufttr.	Biegezug- festigkeit	Druck- festigkeit
	Nr.	cm	Tage	kp/dm ³	kp/cm ²	kp/cm ²
Wände 125 x 24 x 250cm ³	WTS 1	18,5	28	1,84	9,6	33
	WTS 2	18,5		1,84	9,7	34
	WTN 1	18,1		1,86	11,9	47
	WTN 2	18,1		1,86	11,9	47
	WWS 1	18,3		1,83	11,1	39
	WWS 2	18,3		1,83	9,7	34
	WWN 1	18,2		1,83	11,7	47
	WWN 2	18,2		1,83	11,7	47
	WTS 3	18,3		1,84	9,7	35
	WTS 4	18,3		1,83	9,7	35
	WTN 3	18,4		1,87	11,9	49
	WTN 4	18,4		1,87	11,9	49
	WWS 3	18,5		1,86	12,1	43
	WWS 4	18,5		1,86	12,1	43
	WWN 3	18,1		1,85	12,1	45
	WWN 4	18,1		1,85	12,1	45
	Mittel	18,3	28	1,85	11,2	42
Pfeiler "P" 24 x 24 x 100 cm ³	PT 1-3	18,6	28	1,80	10,9	39
	PW 1-3	18,7		1,76	8,5	31
	PT 4-6	18,5		1,78	12,2	43
	PW 4-6	18,6		1,78	10,1	30
	Mittel	18,6	28	1,78	10,4	36
Pfeiler "K" 11,5 x 24 x 40cm ³	KTA I	18,0	28	1,85	15,7	57
	KTA II	18,2		1,82	16,4	52
	KWA I+II	18,1		1,82	15,7	54
	KTB I	18,3		1,82	12,6	54
	KTB II	17,9		1,80	15,0	52
	KWB I+II	18,1		1,81	13,7	48
	Mittel	18,1	28	1,82	14,9	53
Abgleichmörtel für Proben nach DIN 106 (Tafel 1)	1 - 15	untere Schicht			33	537
	16 - 30				37	544
	31 - 40				36	555
	Mittel			-	35	545
	1 - 15	mittlere Schicht			37	504
	16 - 30				30	520
	31 - 40				33	534
	Mittel			-	33	519
	1 - 15	obere Schicht			40	542
	16 - 30				38	525
	31 - 40				39	538
	Mittel			-	39	535

Tafel 12: Wände 125 x 24 x 250 cm³ - Bruchlasten und Bruchspannungen

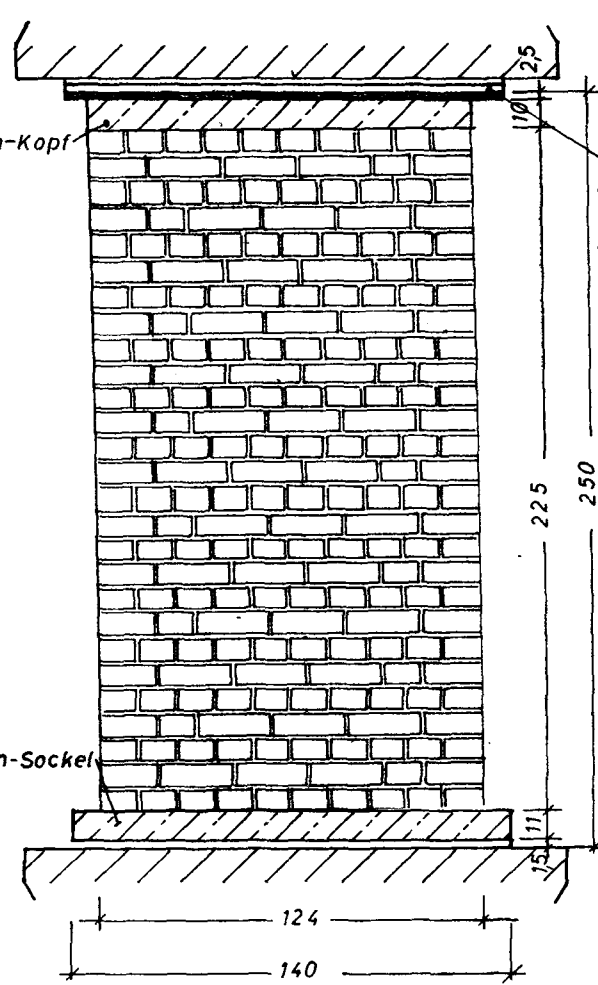
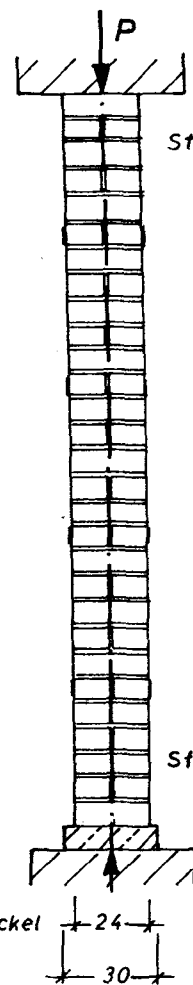
Belastungs- art	Zustand der Steine beim Vermauern	Probe	Steinsorte "A"		Steinsorte "B"	
			Bruchlast	Bruchspan- nung	Bruchlast	Bruchspan- nung
		Nr.	Mp	kp/cm ²	Mp	kp/cm ²
mittig	lufttrocken	Mörtel ⁺⁺) 1		9,6/33		11,9/47
		σbz/σd 2		9,7/34		11,9/47
		W T 1	274,6	92	261,0	87
		W T 2	246,0	81	225,0	75
		Mittel	-	87	-	81
	"naß"	Mörtel ⁺⁺) 1		11,1/39		11,7/47
		σbz/σd 2		9,7/34		11,7/47
		W W 1	239,5	81	270,0	91
		W W 2	300,0	101	271,0	92
		Mittel	-	91	-	92
außer- mittig	lufttrocken	Mörtel ⁺⁺) 3		9,7/35		11,9/49
		σbz/σd 4		9,7/35		11,9/49
		W T 3	183,0	125 +)	219,0	147 +)
		W T 4	210,0	140 +)	150,0	101 +)
		Mittel	-	133 +)	-	124 +)
	"naß"	Mörtel ⁺⁺) 3		12,1/43		12,1/45
		σbz/σd 4		12,1/43		12,1/45
		W W 3	190,0	127 +)	237,0	160 +)
		W W 4	163,0	109 +)	180,0	121 +)
		Mittel	-	118 +)	-	141 +)

+) theoretische Randspannungen $\sigma_W = \frac{2 \cdot P}{F}$

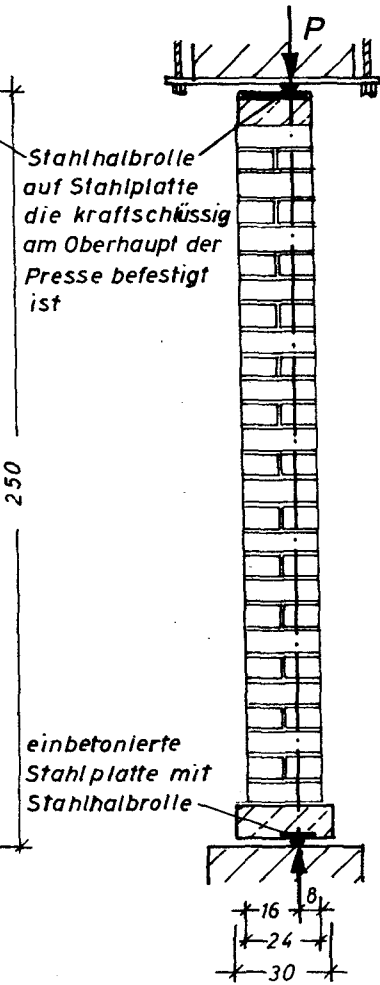
++) Bei den genannten Mörtelfestigkeiten bedeuten Angaben wie z.B. 9,7/34, daß die Biegezugfestigkeit des Mörtels 9,7 kp/cm² betrug, die Druckfestigkeit 34 kp/cm².



Mittig belastete Wände



Außermittig belastete Wände



Maßstab 1:25



Bild 1



Bild 2

Bild 1: Versuchsaufbau
Bild 2: Messung der Stauchungen an einer
 mittig belasteten Wand

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig

Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 17
 FA 8807 / 930

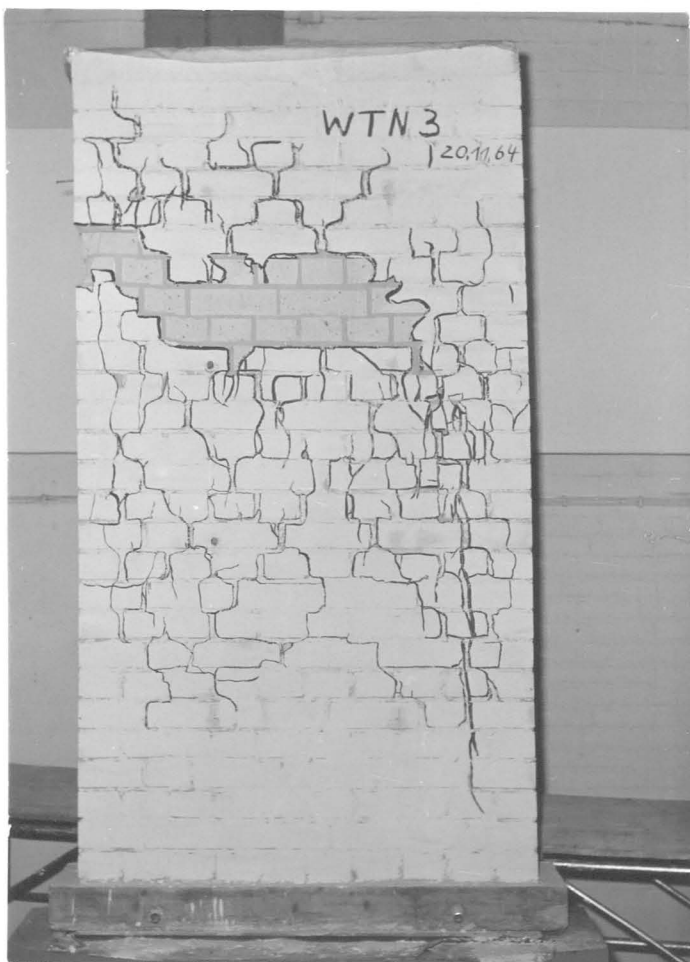


Bild 1

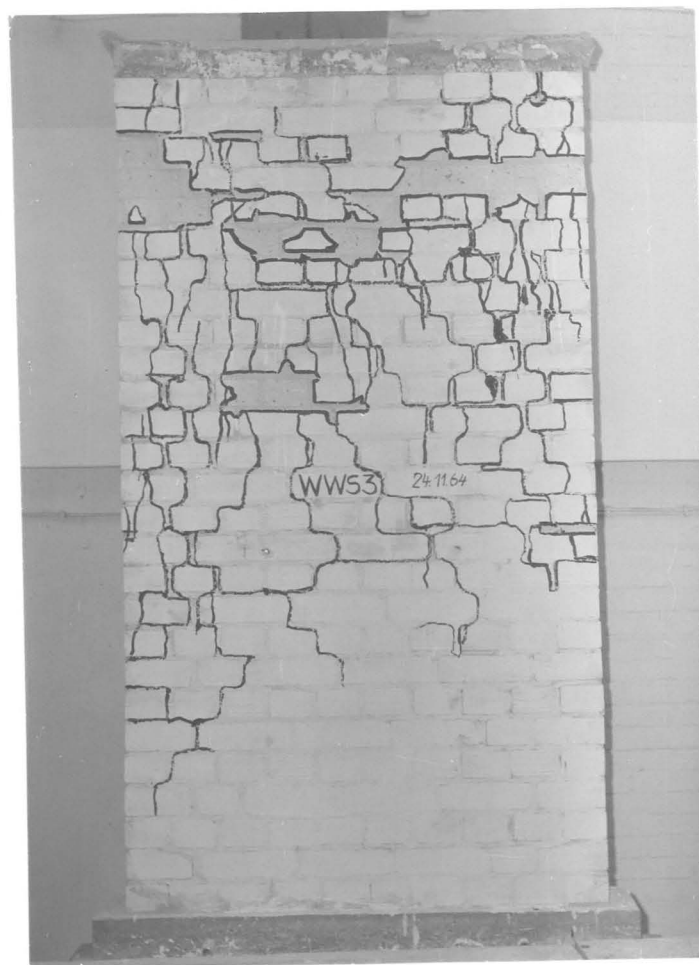


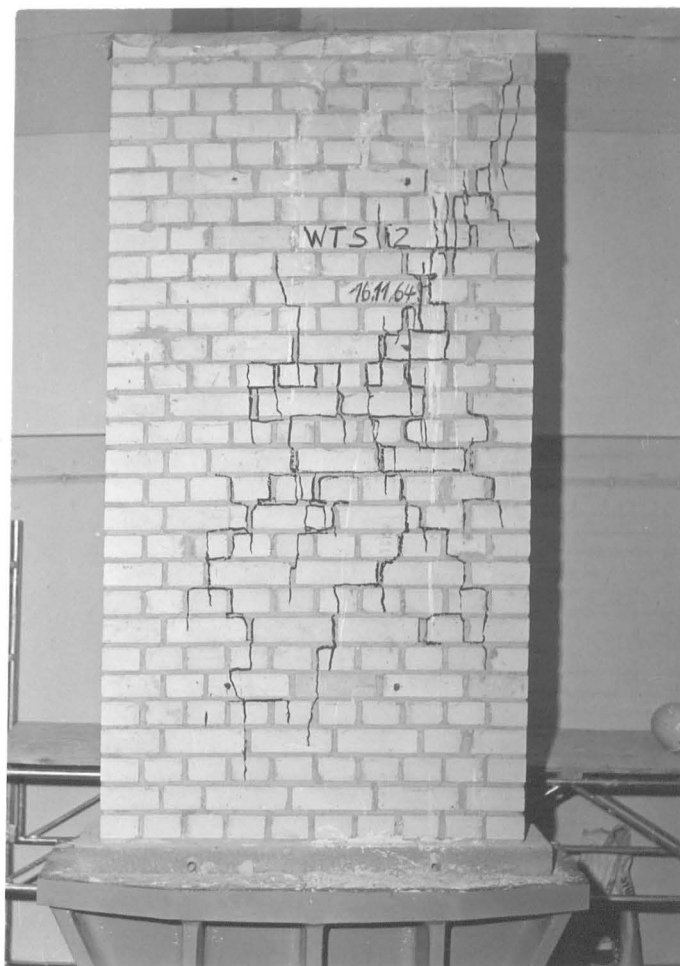
Bild 2

Bild 1 und 2: Bruchbilder ausmittig belasteter Wände

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 18

FA 8807 / 930



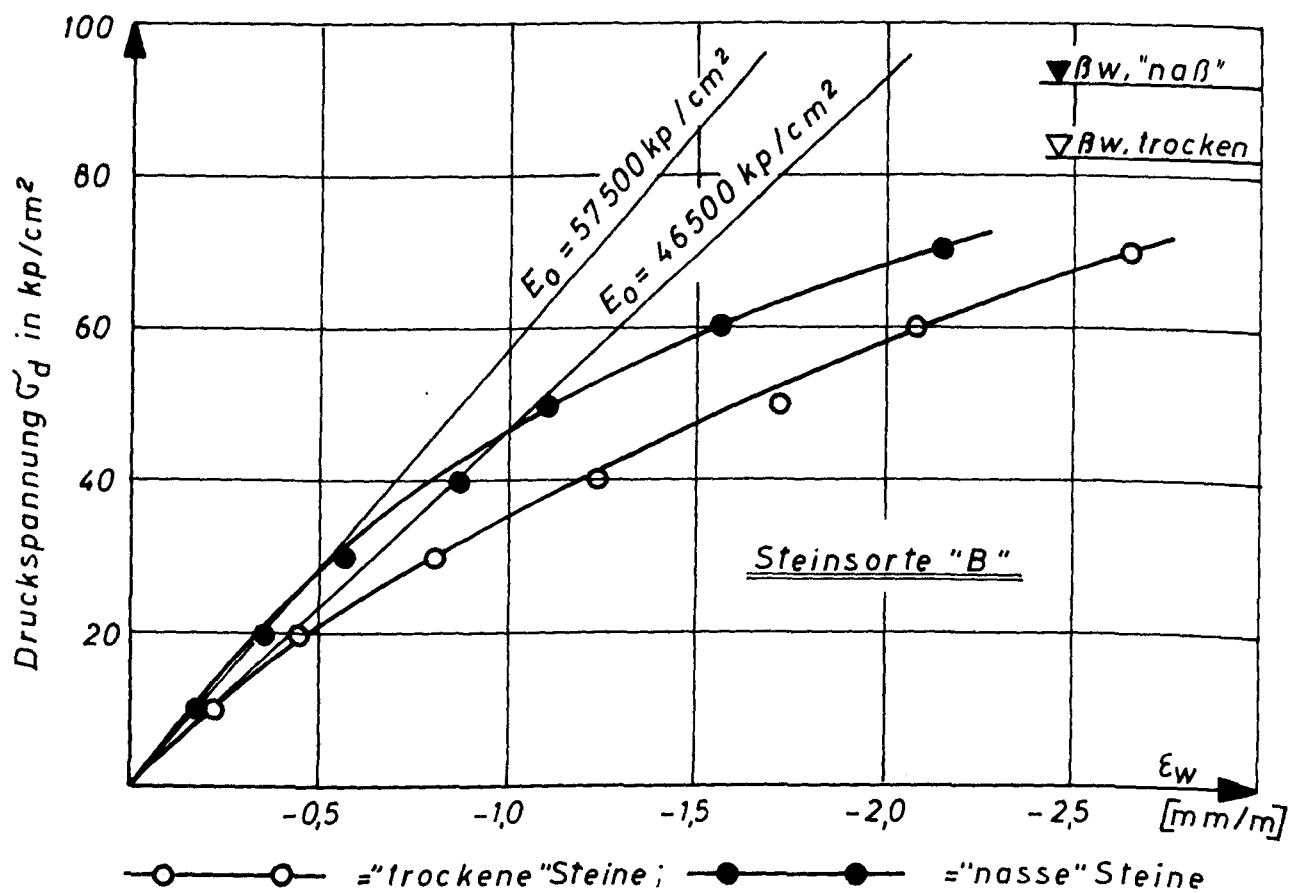
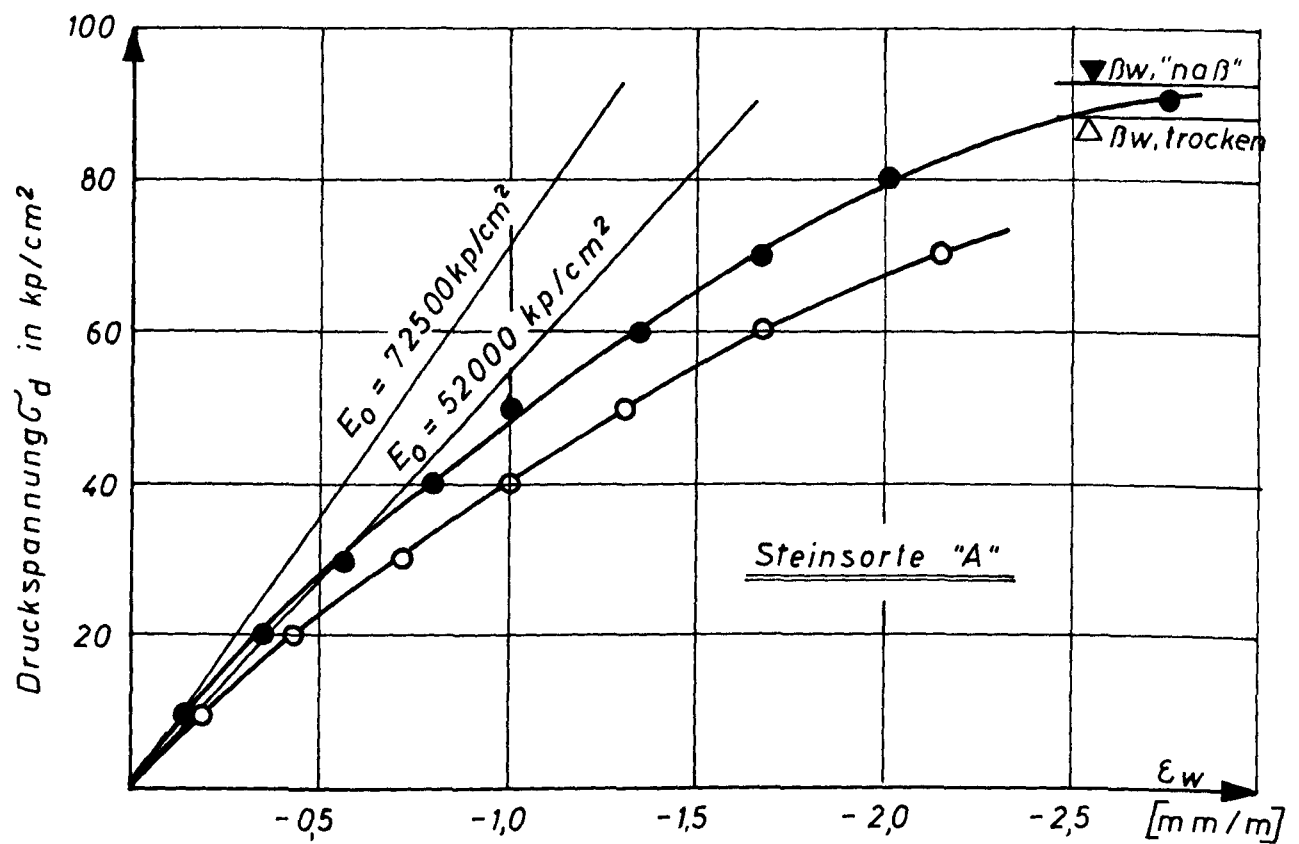
Bruchbild einer mittig belasteten Wand

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 19
FA 8807/930

Tafel 13: Stauchungen der Wände 24 x 125 x 250 cm³

Stein- sorte	Zustand der Stei- ne beim Vermauern	Probe Nr.	Stauchungen ϵ_w in mm/m									Bruchspannung
			zugeordnete Druckspannungen in kp/cm ²									
			10,1	20,1	30,2	40,3	50,4	60,4	70,5	80,6	90,7	kp/cm ²
A	lufttrocken	WTS 1	0,212	0,461	0,720	0,944	1,241	1,726	2,153			92
		WTS 2	0,171	0,413	0,728	1,125	1,375	1,623			81	
		Mittel	0,192	0,437	0,724	1,035	1,308	1,675	2,153		87	
	"naß"	WWS 1	0,136	0,389	0,594	0,843	1,030	1,331	1,712		81	
		WWS 2	0,140	0,311	0,529	0,760	1,036	1,353	1,620	2,081	2,760	101
	Mittel	0,138	0,350	0,562	0,802	1,033	1,342	1,666	2,081	2,760	91	
B	lufttrocken	WTN 1	0,151	0,380	0,721	1,208	1,562	1,953	2,654			87
		WTN 2	0,281	0,508	0,895	1,266	1,688	2,222			75	
		Mittel	0,216	0,444	0,808	1,237	1,625	2,088	2,654		81	
	"naß"	WWN 3	0,177	0,343	0,502	0,776	1,069	1,580			91	
		WWN 4	0,166	0,351	0,629	0,973	1,131	1,544	2,150		92	
	Mittel	0,172	0,347	0,566	0,875	1,100	1,562	2,150		92		



Spannungs - Dehnungsdiagramme
der Kalksandsteinwände $24 \times 125 \times 250 \text{ cm}^3$ (Mittel)

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

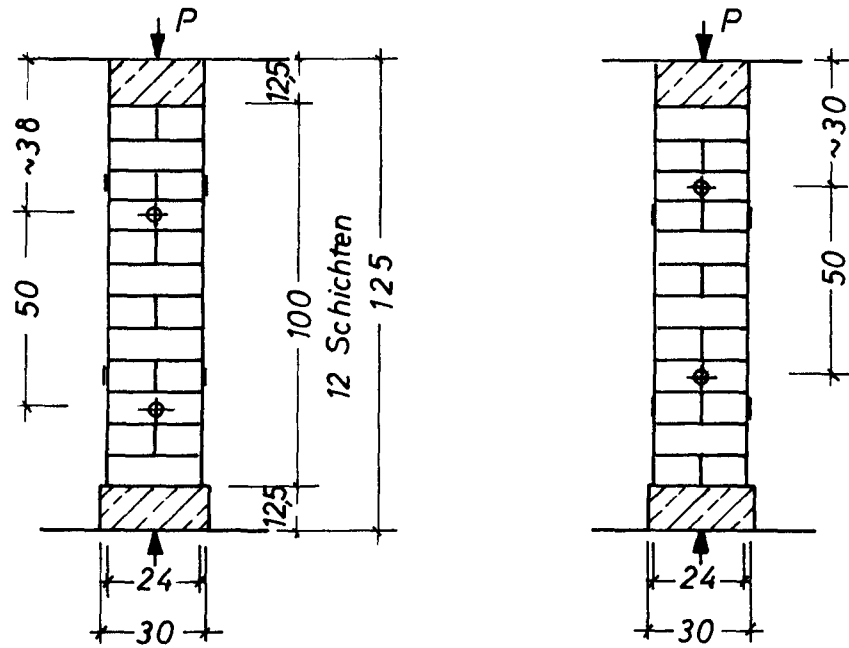
Anlage 21
FA 8807 / 930

Tafel 14: Pfeiler "P" 24 x 24 x 100 cm³ - Bruchlasten und Bruchspannungen.

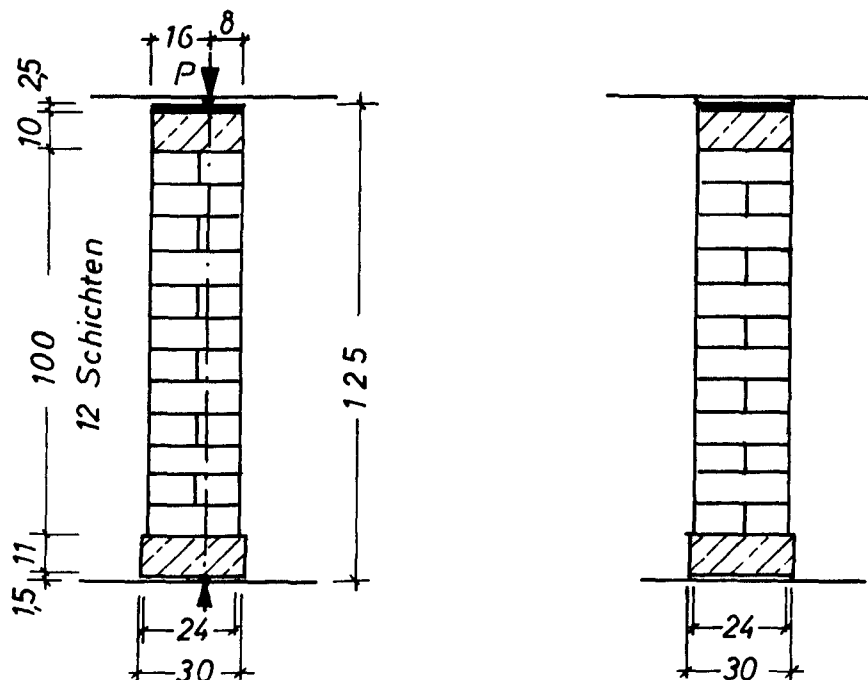
Belastungsart	Zustand der Steine beim Vermauern	Probe Nr.	Steinsorte A		Steinsorte B	
			Bruchlast	Bruchspannung	Bruchlast	Bruchspannung
			Mp	kp/cm ²	Mp	kp/cm ²
mittig	lufttrocken	Mörtel σ_{bz} σ_d		10,9 39		10,9 39
		PT 1	57,6	100	47,3	82
		PT 2	59,6	104	45,0	78
		PT 3	57,6	100	43,2	75
		Mittel	-	101	-	78
	"naß"	Mörtel σ_{bz} σ_d		8,5 31		8,5 31
		PW 1	58,2	101	59,4	103
		PW 2	61,2	107	60,8	106
		PW 3	60,0	104	61,0	106
		Mittel	-	104	-	105
außer-mittig	lufttrocken	Mörtel σ_{bz} σ_d		12,1 43		12,2 43
		PT 4	33,4	116 +)	28,2	98 +)
		PT 5	33,0	115 +)	35,0	122 +)
		PT 6	33,7	117 +)	34,8	121 +)
		Mittel	-	116 +)	-	114 +)
	"naß"	Mörtel σ_{bz} σ_d		10,1 30		10,1 30
		PW 4	29,5	102 +)	38,0	132 +)
		PW 5	24,0	83 +)	42,5	148 +)
		PW 6	30,8	107 +)	42,8	148 +)
		Mittel	-	97 +)	-	143 +)

+) theoretische Randspannungen $\sigma_p = \frac{2 \cdot P}{F}$

Mittig belastete Pfeiler



Außermittig belastete Pfeiler



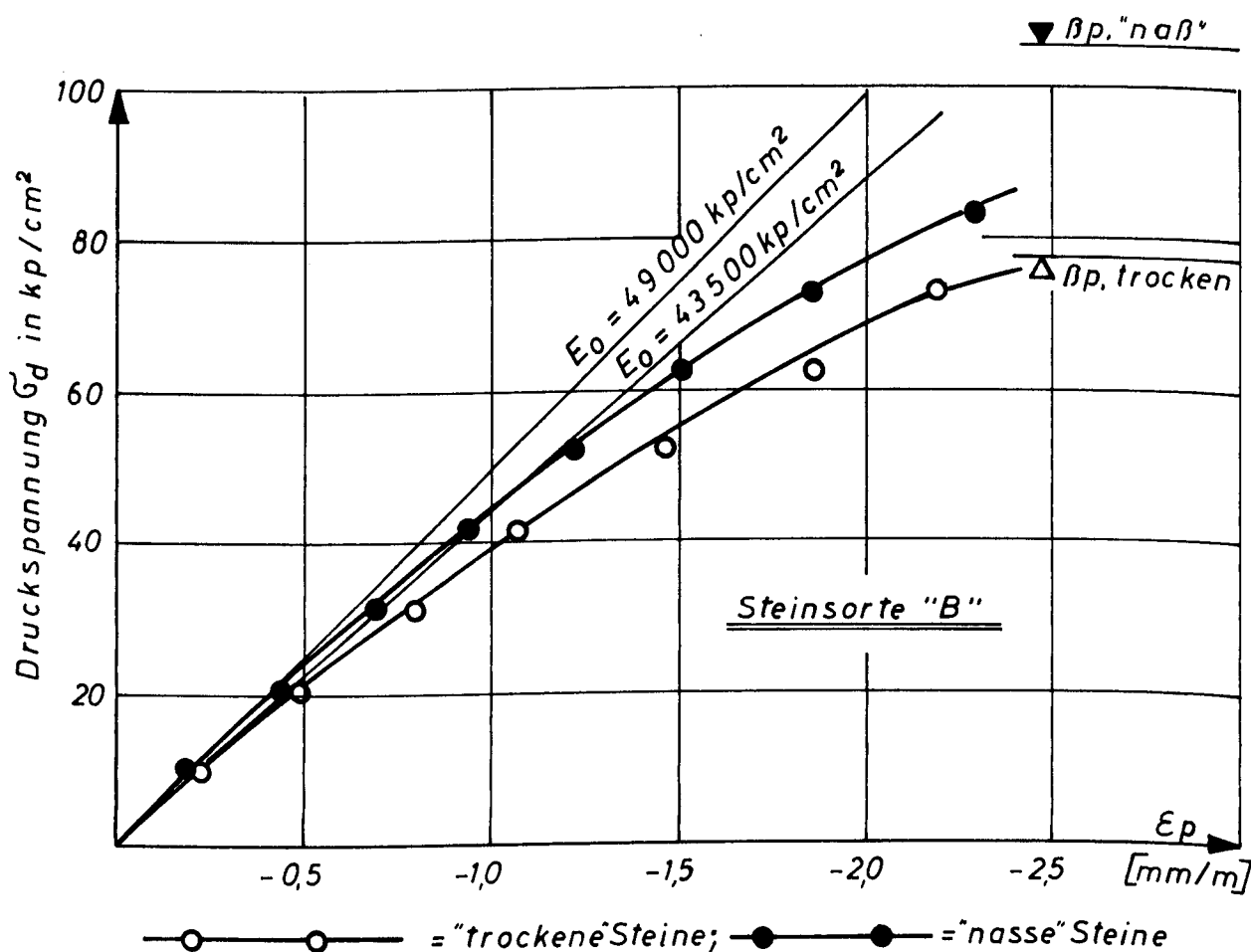
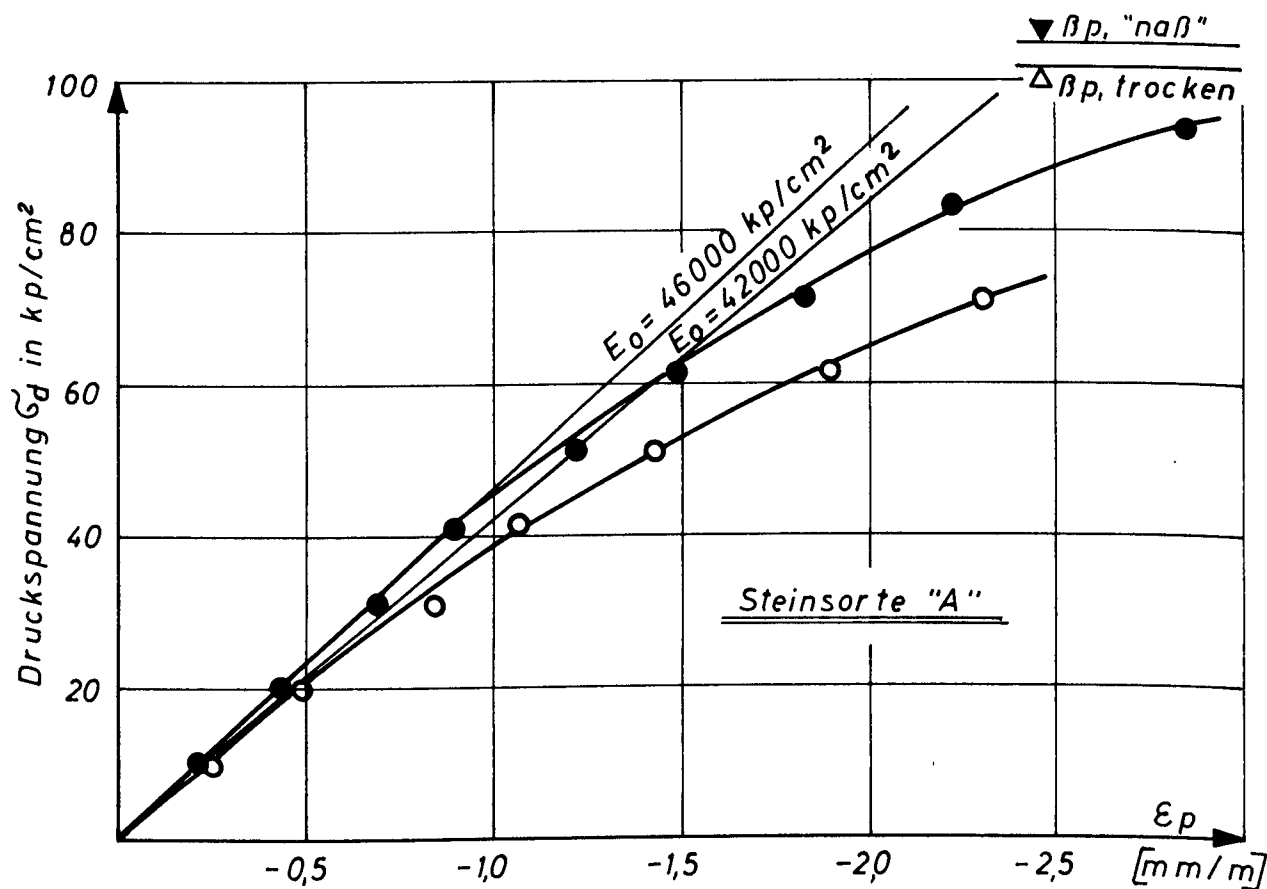
Pfeiler "P" 24x 24 x 100 cm³
Abmessungen und Lasteintragung

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 23
FA 8807 / 930

Tafel 15: Stauchungen der Pfeiler "P" 24 x 24 x 100 cm³

Steinsorte	Zustand der Steine beim Vermauern	Probe Nr.	Stauchungen ϵ_p in mm/m									Bruchspannung kp/cm ²
			zugeordnete Druckspannungen in kp/cm ²									
			10,4	20,8	31,3	41,7	52,1	62,5	72,9	83,3	93,7	
A	luft-trocken	PTS 1	0,225	0,404	0,786	0,984	1,386	1,809	2,117			100
		PTS 2	0,143	0,459	0,814	0,969	1,251	1,786	2,210			104
		PTS 3	0,381	0,591	0,929	1,257	1,646	2,091	2,592			100
		Mittel	0,250	0,485	0,843	1,070	1,428	1,895	2,306			101
	"naß"	PWS 1	0,223	0,457	0,718	0,907	1,251	1,569	1,917	2,302		101
		PWS 2	0,210	0,413	0,661	0,910	1,247	1,486	1,785	2,234	2,882	107
		PWS 3	0,234	0,440	0,693	0,869	1,199	1,402	1,790	2,159	2,821	104
		Mittel	0,222	0,437	0,691	0,895	1,232	1,486	1,831	2,232	2,852	104
B	luft-trocken	PTN 1	0,162	0,457		0,842	1,145	1,544	2,197			82
		PTN 2	0,253	0,564	0,831	1,191	1,647	2,190				78
		PTN 3	0,211	0,419	0,778	1,172	1,596					75
		Mittel	0,209	0,480	0,805	1,068	1,463	1,867	2,197			78
	"naß"	PWN 1	0,160	0,470	0,708	0,953	1,235	1,522	1,851	2,290		103
		PWN 2	0,219	0,466	0,699	0,947	1,215	1,538	1,911	2,323		106
		PWN 3	0,195	0,421	0,662	0,911	1,200	1,495	1,821	2,277		106
		Mittel	0,191	0,452	0,690	0,937	1,217	1,518	1,861	2,297		105

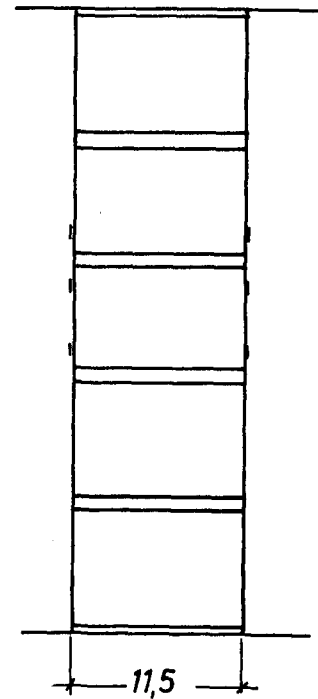
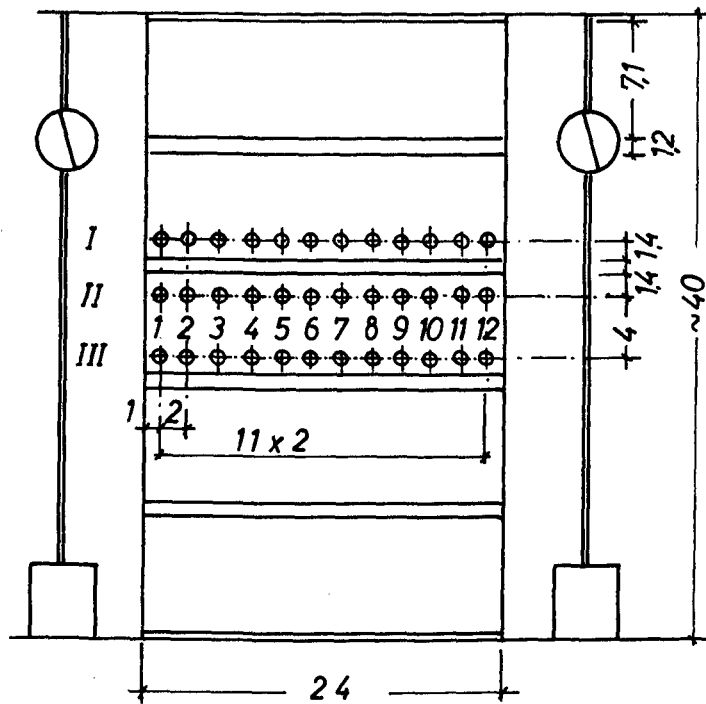


Spannungs-Dehnungsdiagramme
 der Pfeiler "P" $24 \times 24 \times 100 \text{ cm}^3$ (Mittel)

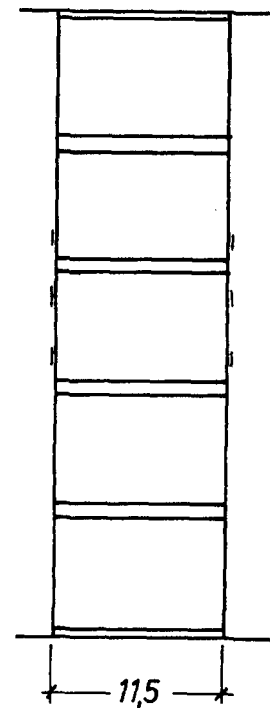
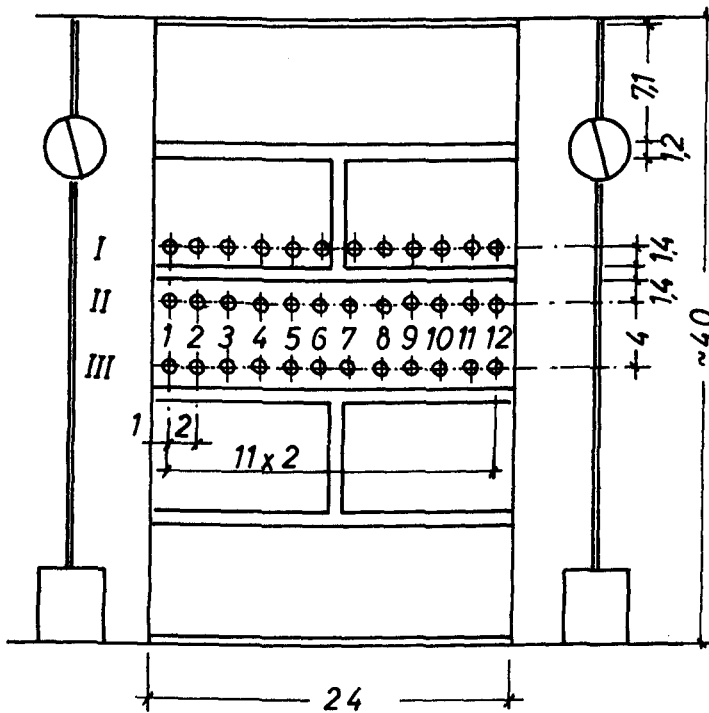
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Hochschule Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 25
 FA 8807/930

Pfeiler Typ I



Pfeiler Typ II



Pfeiler "K" 11,5 x 24 x 40 cm³
Abmessungen und Meßstellen

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 26
FA 8807 / 930

Tafel 16: Druckfestigkeiten der Pfeiler "K" 11,5 x 24 x 40 cm³, Steinsorte "A"

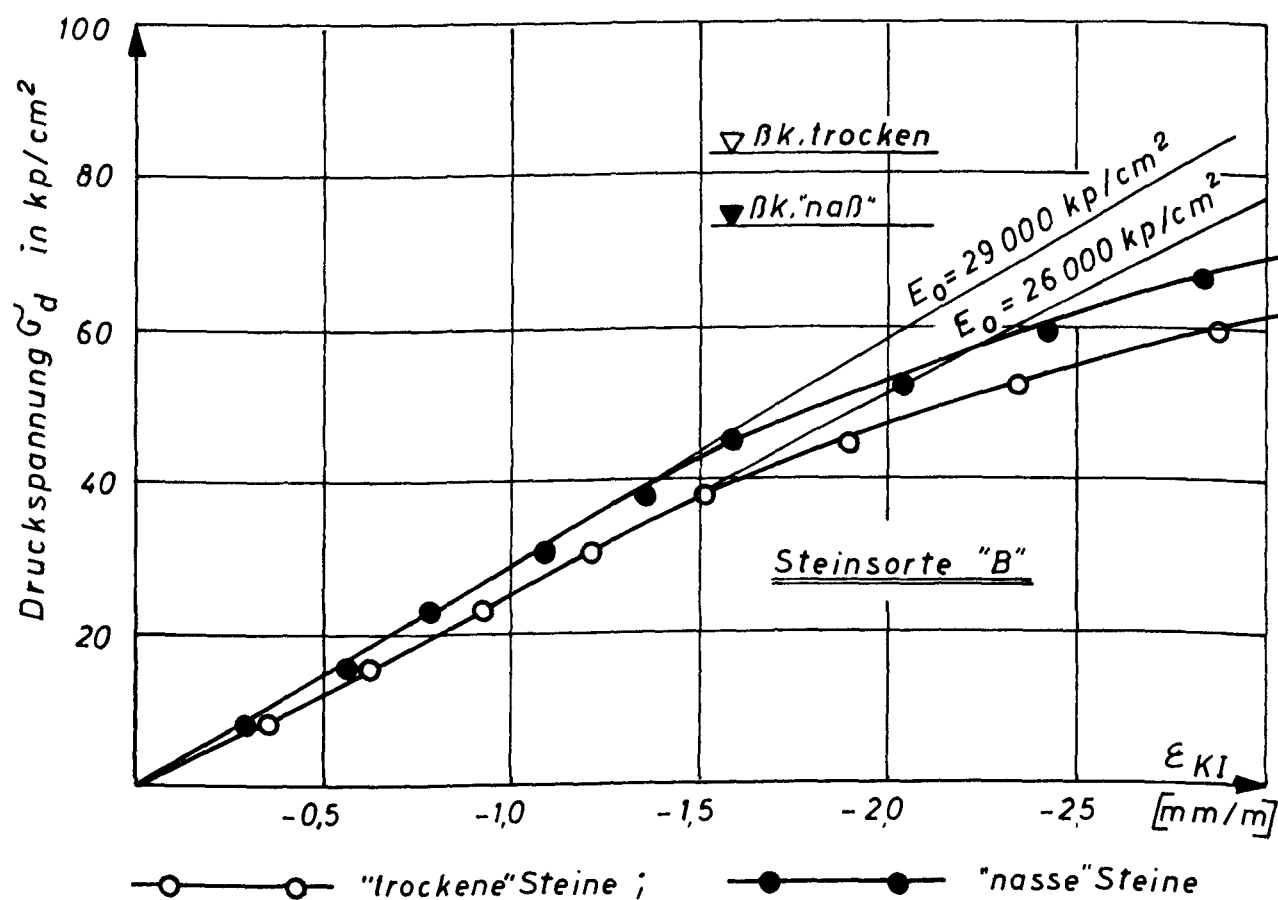
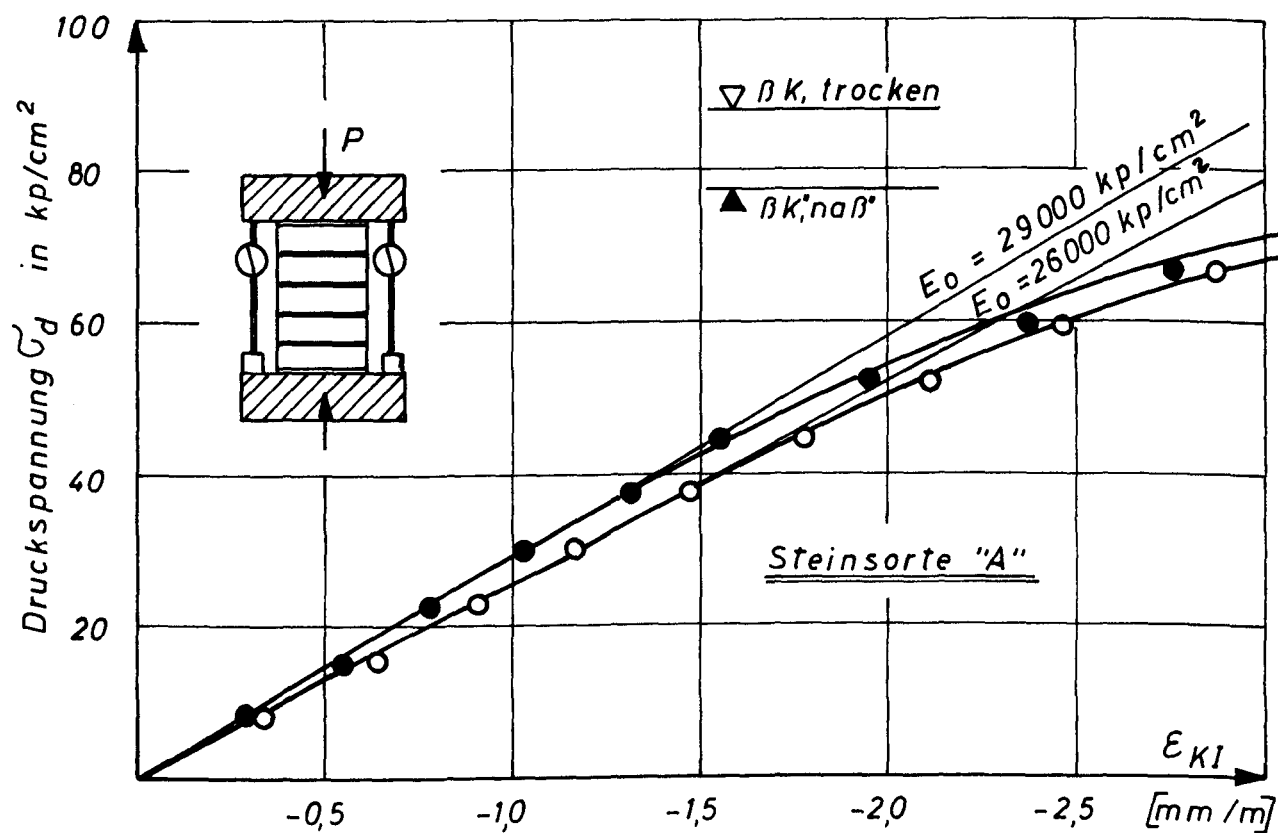
Zustand der Steine beim Vermauern	Probe	Pfeiler Typ I		Pfeiler Typ II	
		Lagerung der Pfeiler bis zur Prüfung:			
		Normklima	Nebelraum	Normklima	Nebelraum
	Nr.	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²
lufttrocken	Mörtel σ_{bz}	15,7	15,7	16,4	16,4
	σ_d	57	57	52	52
	KT 1	110	103	114	101
	KT 2	103	107	111	103
	KT 3	103	88	97	96
	KT 4	103	89	106	101
	KT 5	94	91	116	96
	KT 6	112	83	109	94
	KT 7	106	99	99	101
	KT 8	113	95	97	92
	KT 9	97	89	107	101
	KT 10	115	97	105	
arithmetisches Mittel		106	94	106	98
Maximalwert		115	107	116	103
Minimalwert		94	83	97	92
Spanne R		21	24	19	11
Streuung s		7,0	7,5	6,8	6,0
Variationsquotient V		6,6%	7,9%	6,4%	6,1%
"naß"	Mörtel σ_{bz}	15,7		15,7	
	σ_d	54		54	
	KW 1	129		112	
	KW 2	126		115	
	KW 3	130		116	
	KW 4	134		117	
	KW 5	125		111	
	KW 6	113		117	
	KW 7	114		117	
	KW 8	121		127	
	KW 9	119		130	
	KW 10	108		128	
arithmetisches Mittel		122		119	
Maximalwert		134		130	
Minimalwert		108		111	
Spanne R		26		19	
Streuung s		8,4		6,8	
Variationsquotient V		6,9%		5,7%	

Tafel 17: Druckfestigkeiten der Pfeiler "K" 11,5 x 24 x 40 cm³, Steinsorte "B"

Zustand der Steine beim Vermauern	Probe	Pfeiler Typ I		Pfeiler Typ II	
		Lagerung der Pfeiler bis zur Prüfung:			
		Normklima	Nebelraum	Normklima	Nebelraum
	Nr.	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²	kp/cm ²
lufttrocken	Mörtel σ_{bz}	12,6	12,6	15,0	15,0
	σ_d	54	54	52	52
	KT 1	109	102	90	103
	KT 2	107	111	92	104
	KT 3	108	99	93	91
	KT 4	102	104	104	107
	KT 5	110	103	105	100
	KT 6	107	103	98	96
	KT 7	101	105	117	104
	KT 8	109	95	111	96
	KT 9	102	100	100	98
	KT 10	101	102	96	92
arithmetisches Mittel		106	102	101	99
Maximalwert		110	111	117	107
Minimalwert		101	95	90	91
Spanne R		9	16	27	16
Streuung s		4,0	4,2	8,7	5,4
Variationsquotient V		3,7%	4,1%	8,6%	5,5%
"naß"	Mörtel σ_{bz}	13,7		13,7	
	σ_d	48		48	
	KW 1	106		124	
	KW 2	103		125	
	KW 3	109		108	
	KW 4	116		112	
	KW 5	117		120	
	KW 6	113		123	
	KW 7	131		121	
	KW 8	132		127	
	KW 9	128		118	
	KW 10	131		124	
arithmetisches Mittel		119		120	
Maximalwert		132		127	
Minimalwert		103		108	
Spanne R		29		19	
Streuung s		11,1		6,0	
Variationsquotient V		9,3%		5,0%	

Tafel 18: Gesamtstauchungen der Pfeiler "K" 11,5 x 24 x 40 cm³

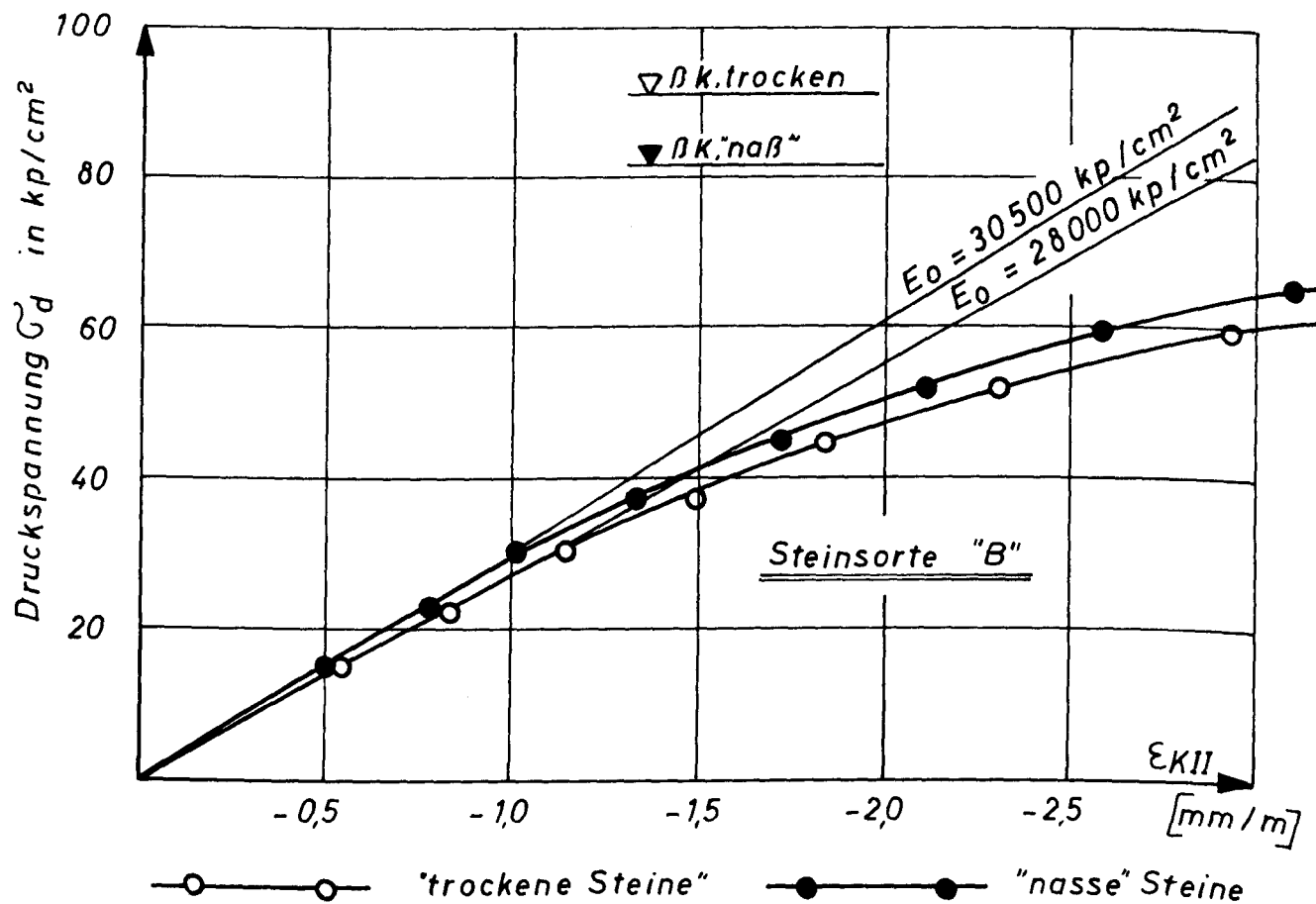
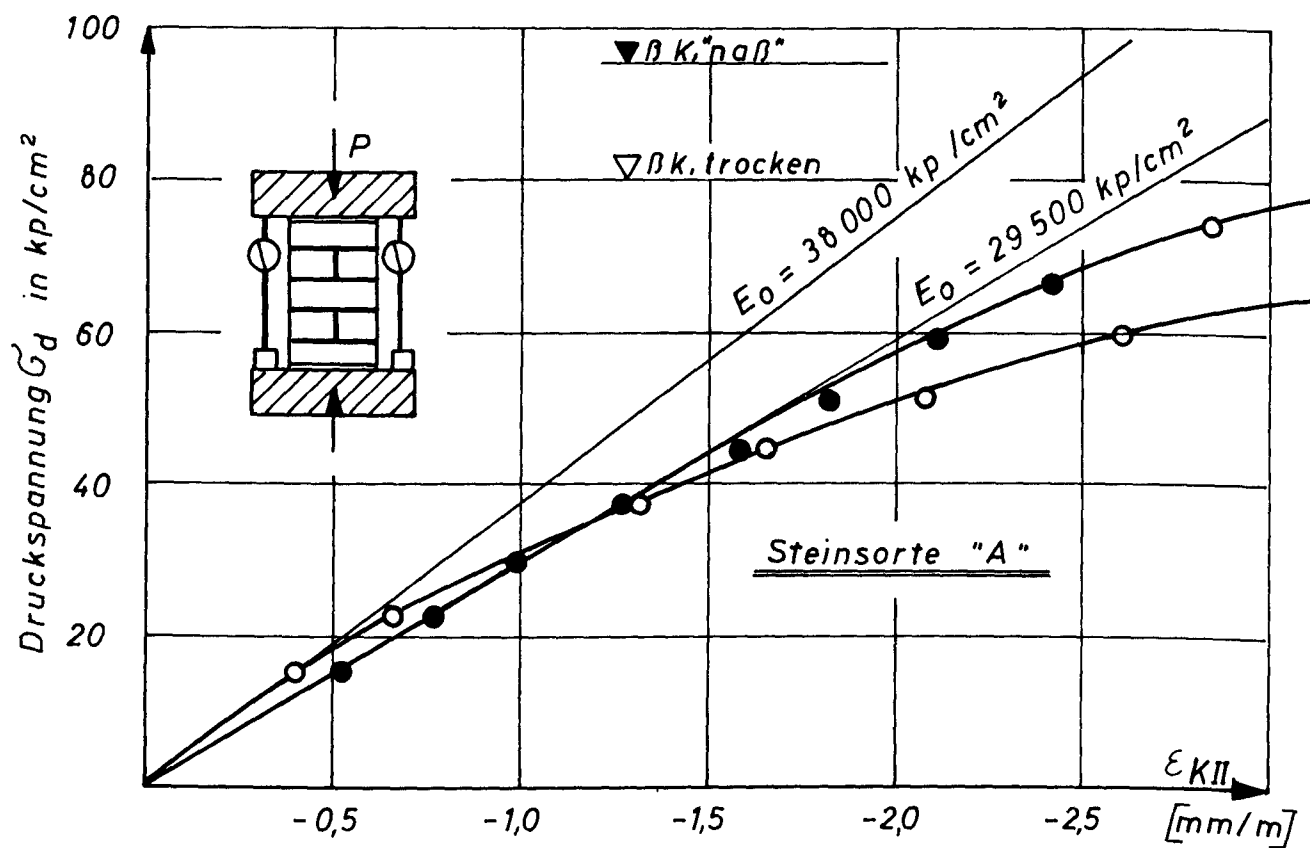
Pfeiler Typ	Steinsorte	Zustand der Steine beim Ver- mauern	Probe Nr.	Stauchungen ϵ_K in mm												Bruch- span- nung kp/cm ²
				zugeordnete Druckspannungen in kp/cm ²												
				8,4	15,7	23,0	30,3	37,6	44,9	52,2	59,5	66,8	74,1	81,4	88,7	
I	A	luft- trocken	1a	0,34	0,65	0,92	1,16	1,43	1,69	1,98	2,30	2,64	3,05	3,58		84
			2a	0,34	0,64	0,88	1,17	1,52	1,86	2,25	2,66	3,13	3,64	4,30		92
			Mittel	0,34	0,645	0,90	1,165	1,475	1,775	2,115	2,48	2,885	3,345	3,94		88
		"naß"	1b	0,29	0,58	0,84	1,08	1,28	1,53	1,90	2,30	2,62				75
			2b	0,29	0,50	0,72	0,95	1,34	1,57	2,01	2,46	2,92	3,25			79
			Mittel	0,29	0,54	0,78	1,015	1,31	1,55	1,955	2,38	2,77	3,25			77
	B	luft- trocken	3a	0,37	0,56	0,86	1,16	1,49	1,86	2,28	2,79	3,38				75
			4a	0,34	0,66	0,98	1,25	1,55	1,94	2,42	2,97					86
			Mittel	0,355	0,61	0,92	1,205	1,52	1,90	2,35	2,88	3,38				81
		"naß"	3b	0,27	0,52	0,78	1,03	1,30	1,59	1,94	2,28	2,70	3,23	4,07		84
			4b	0,31	0,58	0,80	1,15	1,40	1,59	2,14	2,58	2,98				70
			Mittel	0,29	0,56	0,79	1,09	1,35	1,59	2,04	2,43	2,84	3,23	4,07		77
II	A	luft- trocken	1c		0,40	0,67	0,97	1,31	1,66	2,09	2,61	3,30				80
		"naß"	1d		0,52	0,76	1,00	1,27	1,58	1,82	2,11	2,42	2,84	3,32	4,10	95
	B	luft- trocken	3c		0,55	0,84	1,15	1,49	1,85	2,31	2,84	3,41				82
		"naß"	3d		0,51	0,78	1,02	1,34	1,73	2,12	2,59	3,10	3,66	4,32		91



Spannungs - Dehnungsdiagramme
der Pfeiler "K" $11,5 \times 24 \times 40 \text{ cm}^3$, Typ I (Mittel)

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 30
FA 8807 / 930



Spannungs - Dehnungsdiagramme
der Pfeiler "K", $11,5 \times 24 \times 40 \text{ cm}^3$, Typ II

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

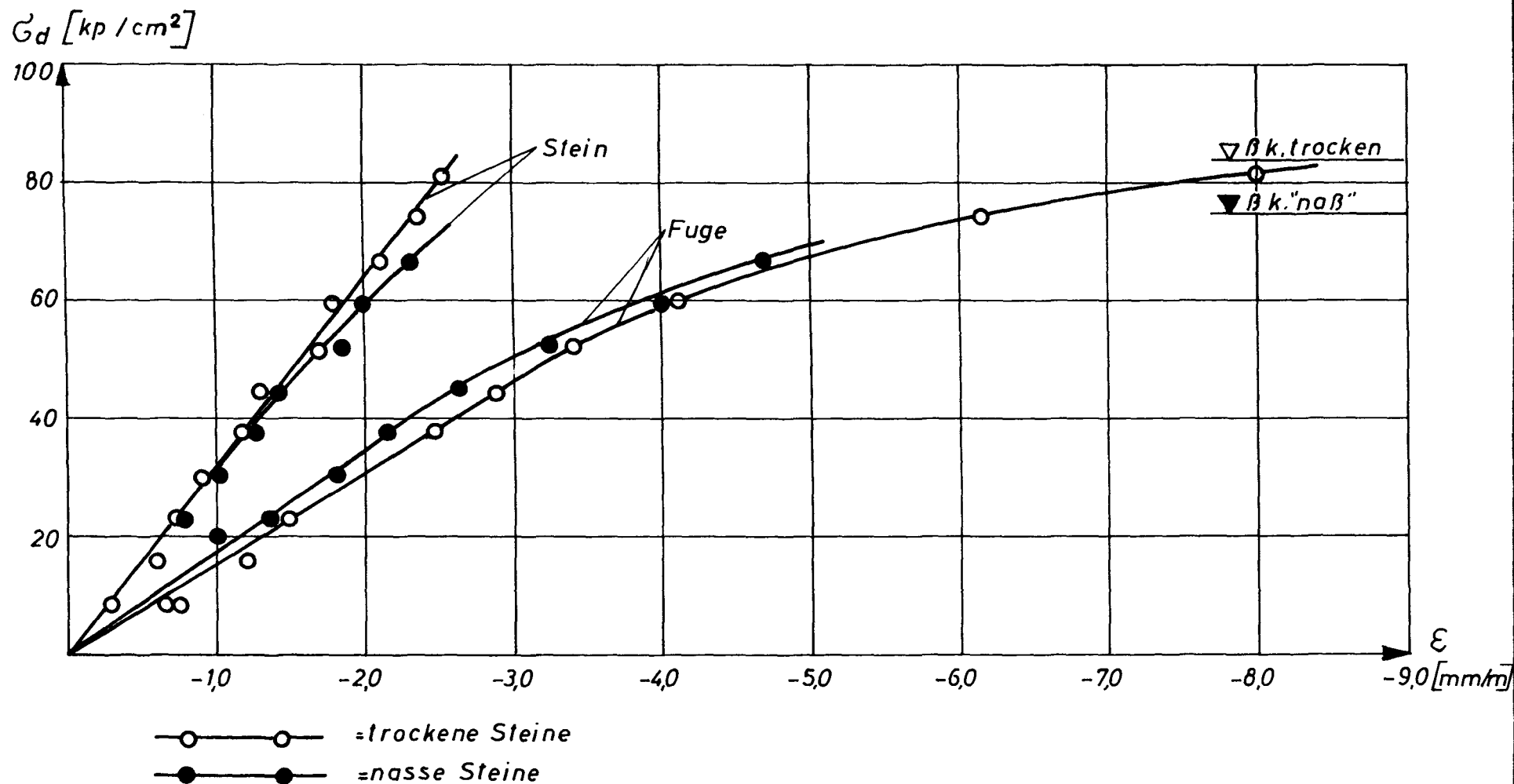
Anlage 31
FA 8807 / 930

Tafel 19: Stauchungen der Einzelsteine und der Fugen

Pfeiler Typ	Steinsorte	Zustand der Steine beim Vermauern	Probe Nr.	Meß- strecke über	den Stauchungen zugeordnete Druckspannungen in kp/cm^2											
					8,4	15,7	23,0	30,3	37,6	44,9	52,2	59,5	66,8	74,1	81,4	88,7
					Stauchungen in mm/m											
I	A	luft- trocken	1a	Stein	0,31	0,62	0,72	0,92	1,19	1,28	1,70	1,80	2,12	2,37	2,54	
				Fuge	0,70	1,20	1,48	1,82	2,46	2,88	3,41	4,12	4,67	6,16	7,99	
		"naß"	1b	Stein	0,30	0,60	0,76	0,98	1,25	1,42	1,86	2,00	2,30			
				Fuge	0,68	1,00	1,36	1,80	2,15	2,62	3,25	4,00	4,70			
	B	luft- trocken	3a	Stein	0,37	0,56	0,75	0,88	1,10	1,30	1,58	1,85				
				Fuge	0,75	1,10	1,76	2,80	3,45	4,76	6,25	7,30				
		"naß"	3b	Stein	0,30	0,50	0,76	0,98	1,20	1,42	1,76	2,00	2,35	2,66	2,98	
				Fuge	0,46	0,67	1,08	1,40	2,10	2,65	3,22	4,30	5,00	7,03	10,80	
II	A	luft- trocken	1c	Stein		0,48	0,76	0,90	1,22	1,40	1,69	2,01	2,15			
				Fuge	0,52	0,90	1,20	1,56	2,25	3,50	4,95	7,80	10,33			
		"naß"	1d	Stein		0,48	0,80	1,00	1,25	1,44	1,81	2,08	2,28	2,60	3,05	3,58
				Fuge		0,68	1,05	1,28	1,64	2,08	2,56	3,12	3,96	4,84	6,46	7,76
	B	luft- trocken	3c	Stein		0,45	0,78	0,88	1,09	1,28	1,56	1,80	1,98			
				Fuge	0,57	1,09	1,48	2,26	3,64	5,03	6,65	8,35				
		"naß"	3d	Stein		0,52	0,78	0,98	1,20	1,54	1,73	2,03	2,30	2,59	2,88	
				Fuge		0,64	0,91	1,25	1,91	3,05	4,60	6,84	8,55	10,85	13,80	

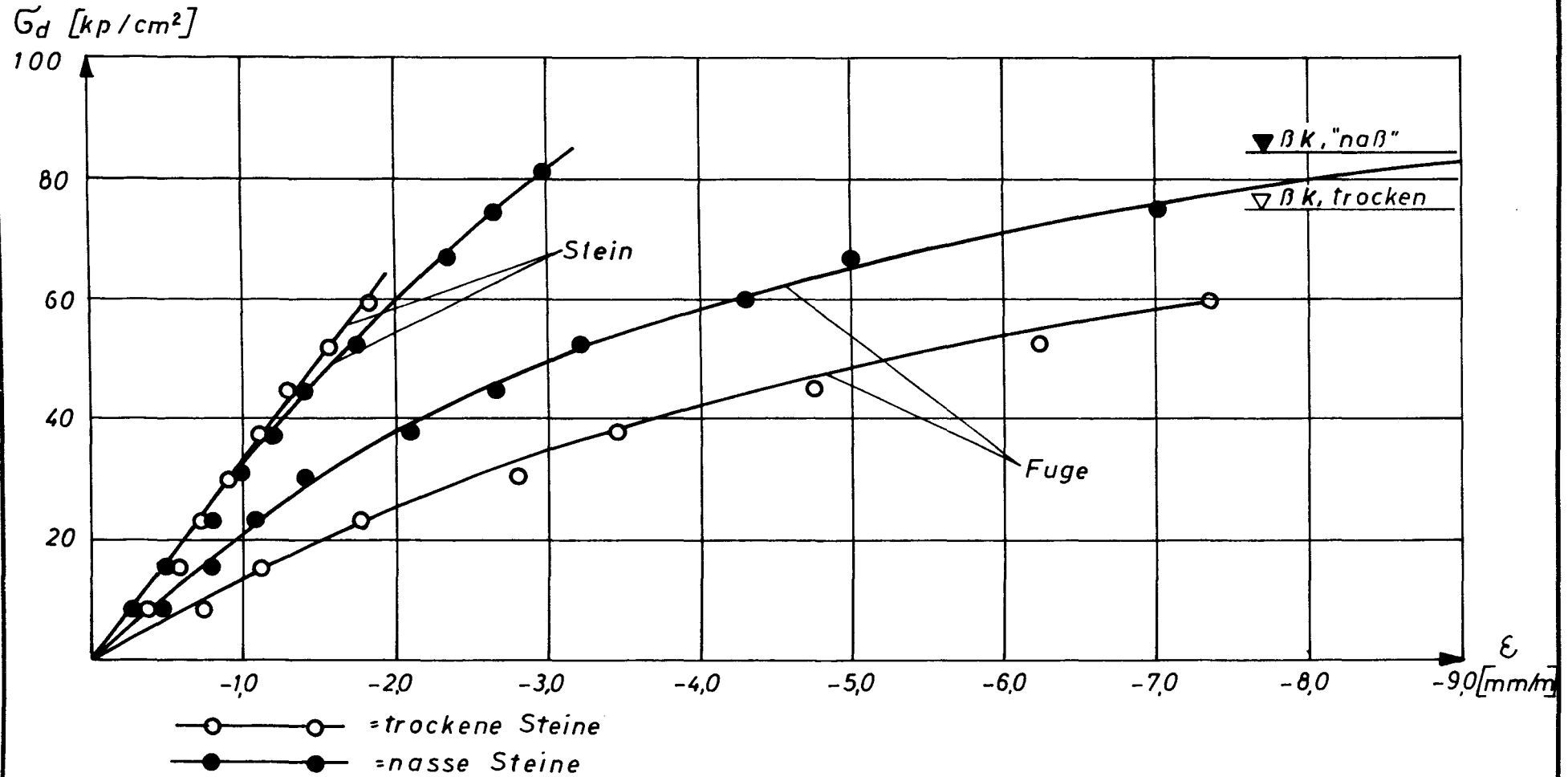
Spannungs - Dehnungsdiagramme
 der Einzelsteine und Fugen

Steinsorte "A"
Pfeiler Typ I



Steinsorte "B"

Pfeiler Typ I



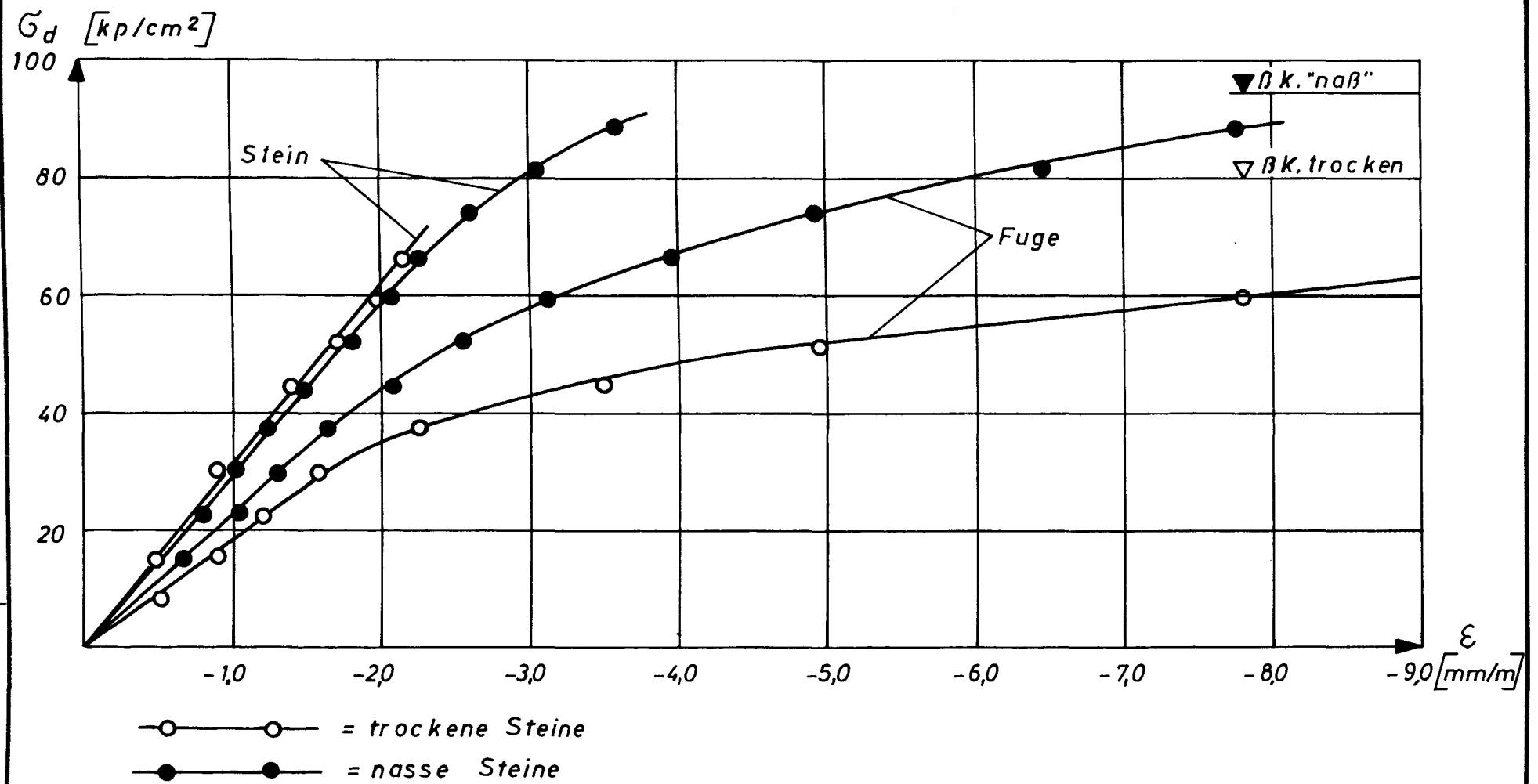
Spannungs - Dehnungsdiagramme
der Einzelsteine und Fugen

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 34
FA 8807 / 930

Steinsorte "A"

Pfeiler Typ II



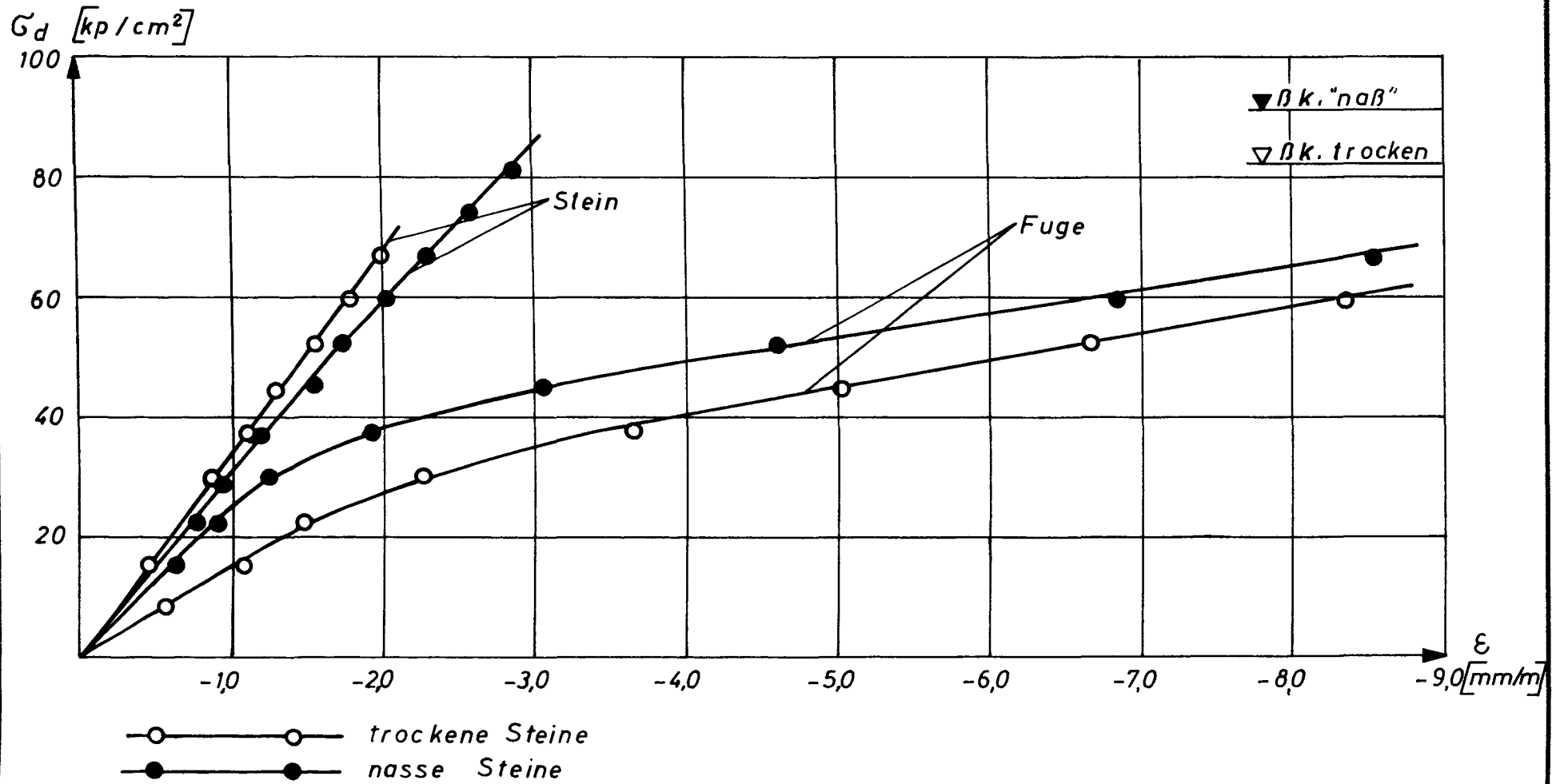
Spannungs - Dehnungsdiagramme
der Einzelsteine und Fugen

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 35
FA 8807 / 930

Steinsorte 'B'

Pfeiler Typ II



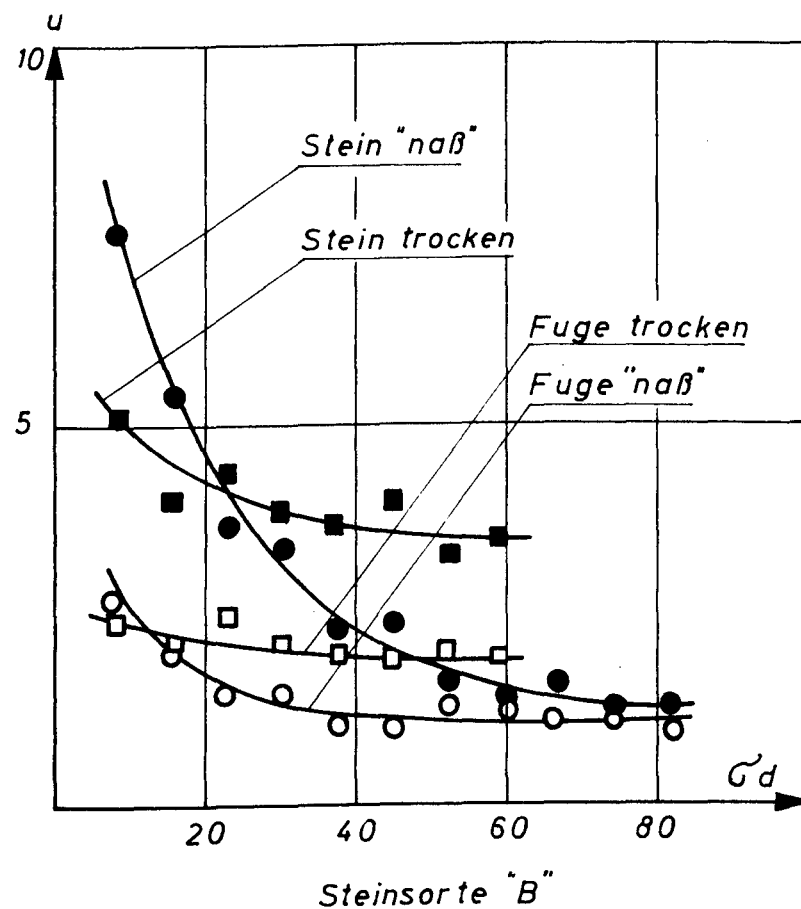
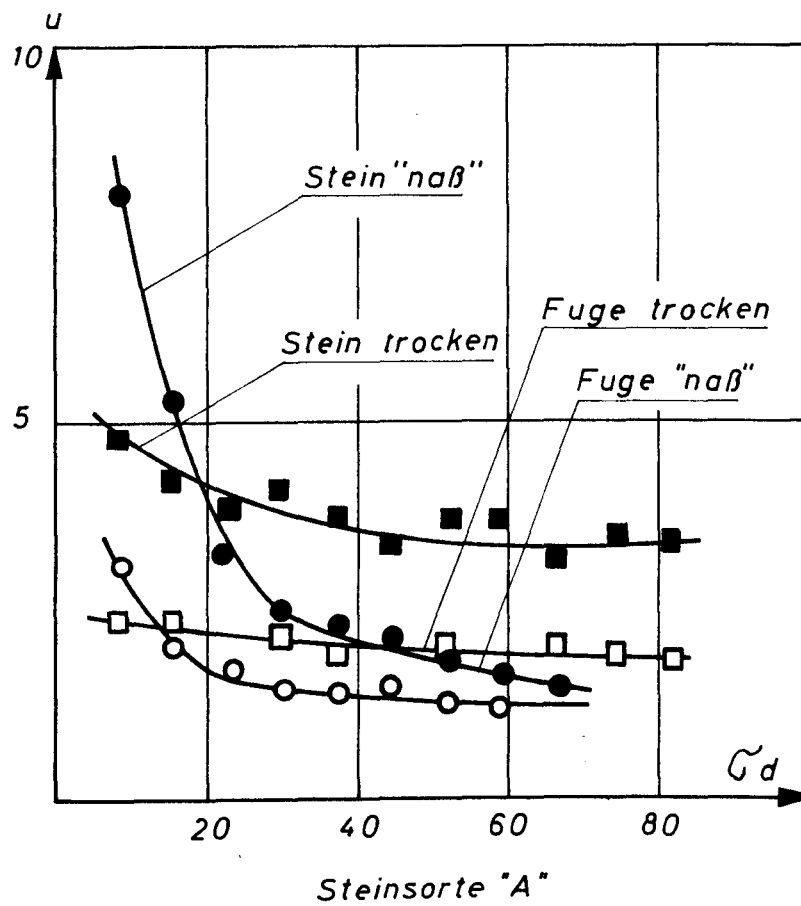
Spannungs - Dehnungsdiagramme
der Einzelsteine und Fugen

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 36
FA 8807/930

Ungleichförmigkeitszahl der Einzelsteine und der Fugen

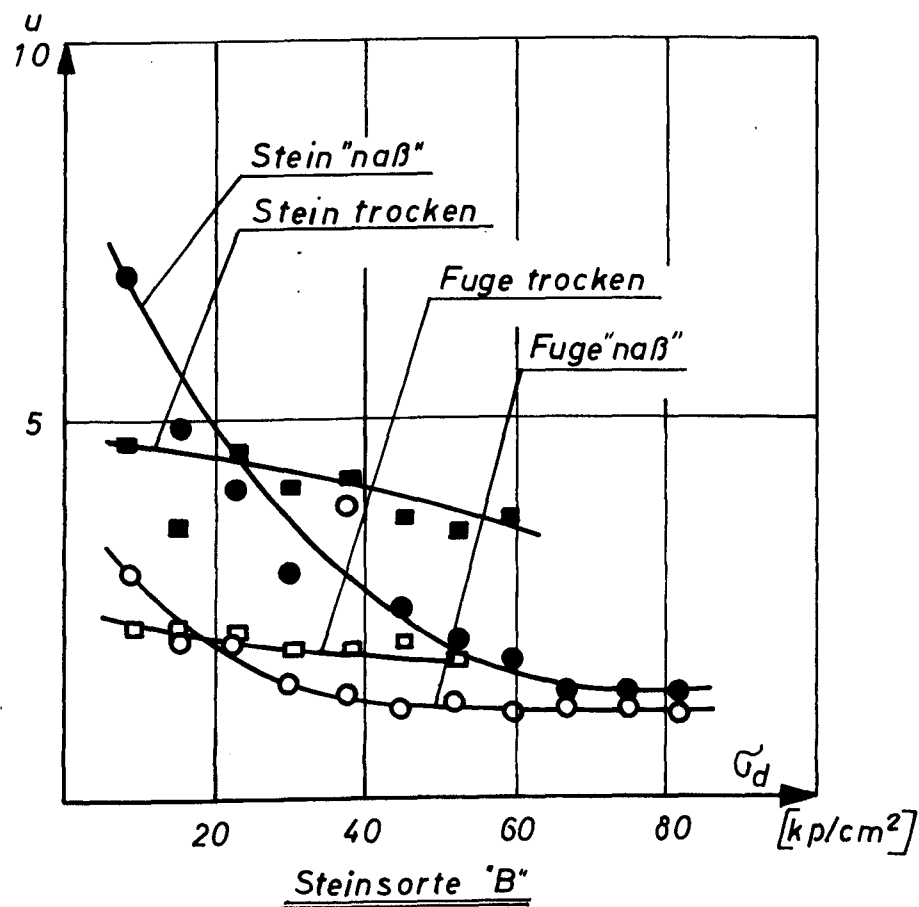
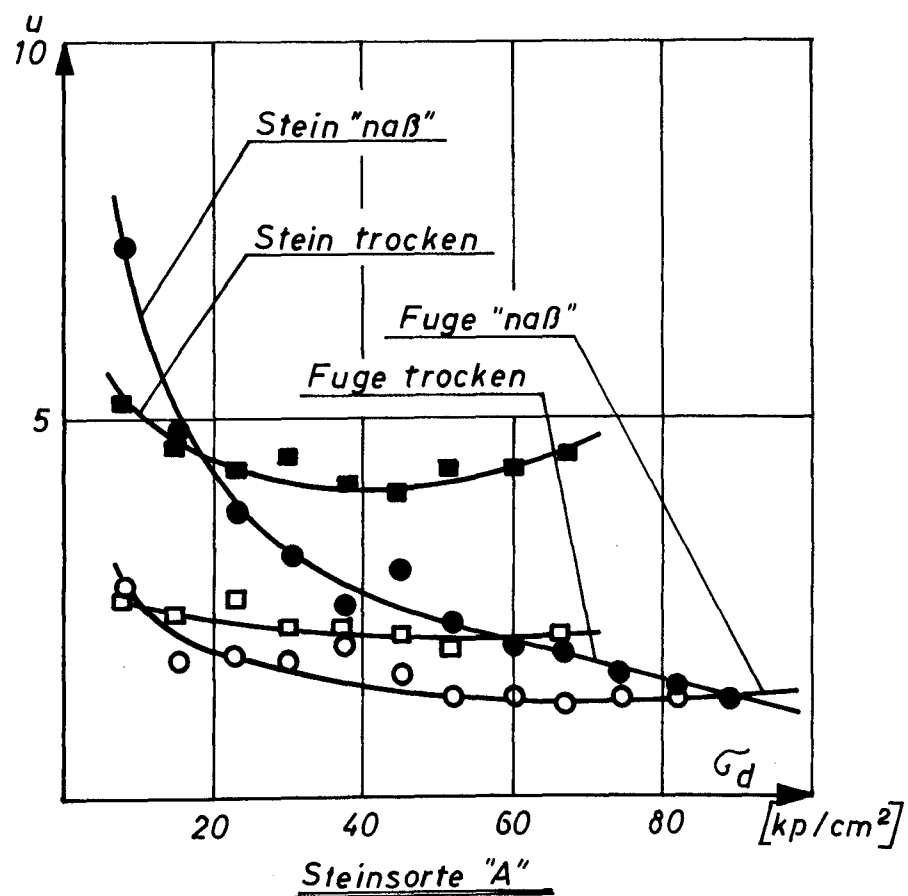
Pfeiler Typ	Steinsorte	Zustand der Steine beim Vermauern	Probe Nr.	Meß- strecke über	zugeordnete Druckspannungen in kp/cm^2											
					8,4	15,7	23,0	30,3	37,6	44,9	52,2	59,5	66,8	74,1	81,4	88,7
					Ungleichförmigkeitszahl											
I	A	lufttrocken	1a	Stein	4,8	4,3	3,9	4,1	3,7	3,4	3,7	3,7	3,2	3,5	3,4	
				Fuge	2,4	2,3	1,9	2,2	2,0	2,4	2,0	1,8	2,0	1,9	1,8	
		"naß"	1b	Stein	8,0	5,3	3,3	2,5	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5			
				Fuge	3,1	2,0	1,8	1,4	1,4	1,5	1,3	1,2	1,3			
	B	lufttrocken	3a	Stein	5,1	4,0	4,3	3,8	3,7	3,9	3,3	3,5				
				Fuge	2,4	2,2	2,5	2,1	2,0	1,9	2,0	1,9				
		"naß"	3b	Stein	7,5	5,4	3,7	3,3	2,4	2,4	1,7	1,4	1,6	1,3	1,3	
				Fuge	2,8	2,0	1,5	1,4	1,1	1,1	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	
II	A	lufttrocken	1c	Stein	5,2	4,5	4,3	4,5	4,1	4,0	4,3	4,3	4,5			
				Fuge	2,5	2,4	2,6	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	2,1			
		"naß"	1d	Stein	7,3	4,9	3,8	3,2	2,5	3,0	2,3	2,0	1,9	1,6	1,4	1,3
				Fuge	2,8	1,8	1,9	1,8	2,0	1,6	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3
	B	lufttrocken	3c	Stein	4,7	3,6	4,6	4,1	4,2	3,7	3,5	3,7				
				Fuge	2,3	2,3	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8					
		"naß"	3d	Stein	6,9	4,9	4,1	3,0	3,9	2,5	2,1	1,8	1,4	1,4	1,4	
				Fuge	3,0	2,1	2,1	1,5	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,1	



Ungleichförmigkeitszahl "u"
Pfeiler Typ I

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

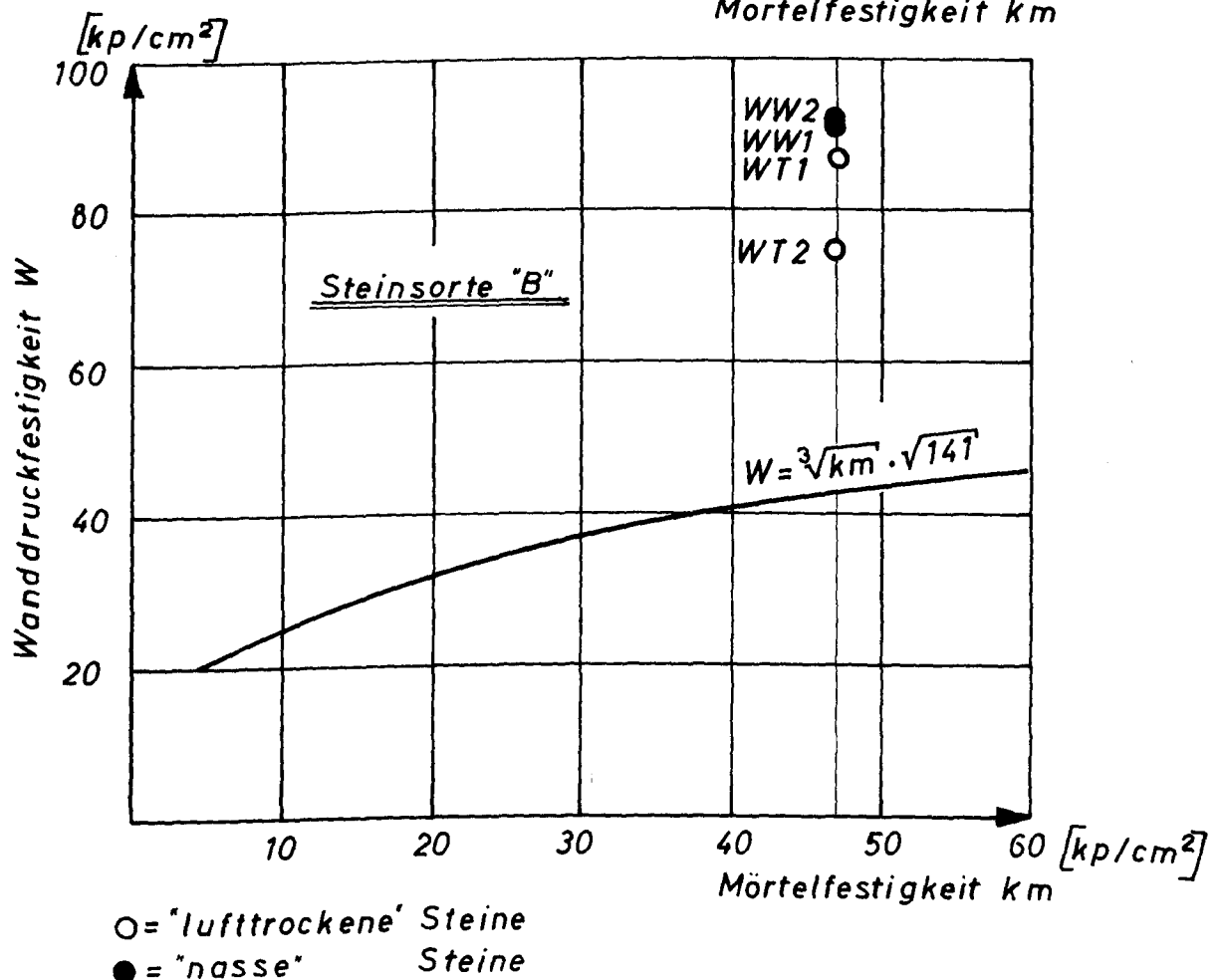
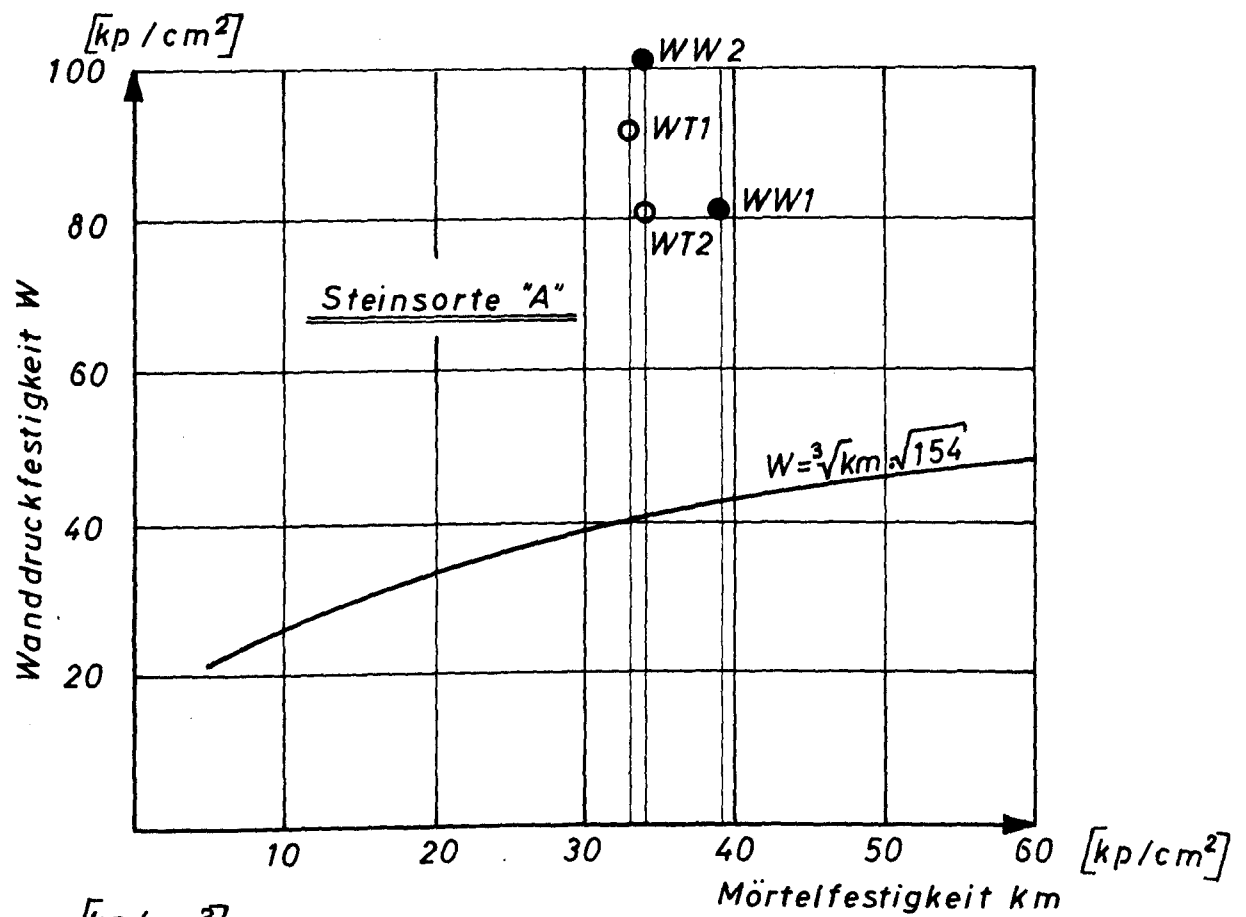
Anlage 38
FA 8807 / 930



Ungleichförmigkeitszahl "u"
Pfeiler Typ II

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 39
FA 8807/930



Vergleich der theoretischen mit den im Versuch
erzielten Wanddruckfestigkeiten

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 40
FA 8807/930